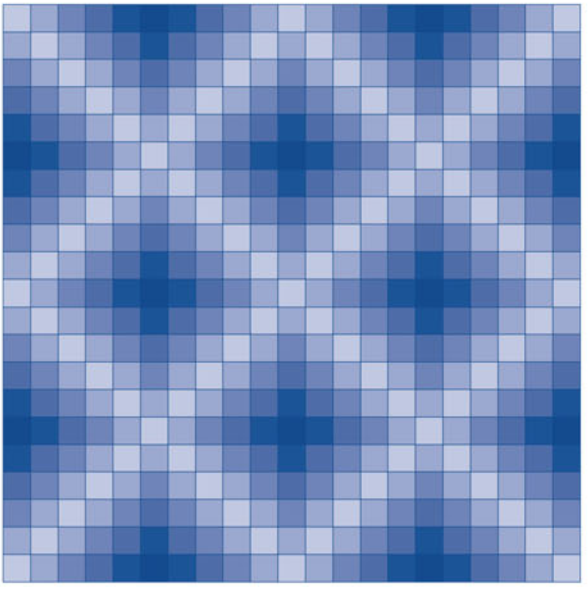
TRATADO DE FILOSOFÍA

MARIO BUNGE

Ontología I

El moblaje del mundo



gedisa
editorial

Mario Bunge

Tratado de Filosofía

Volumen 3

ONTOLOGÍA I: EL MOBLAJE DEL MUNDO

Tratado de Filosofía
Mario Bunge

Tratado de Filosofía

Volumen III

ONTOLOGÍA I:
EL MOBLAJE DEL MUNDO

Mario Bunge

gedisa
editorial

Traducido de la edición en inglés de T*reatise on Basic Philosophy.* Vol. 3: *Ontology I: The Furniture of the World.*

Traducción: Rafael González del Solar

Es biólogo (Universidad Nacional de Córdoba, Argentina), doctorando en el Departamento de Filosofía de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y traductor especializado en textos técnicos, científicos y filosóficos. Su formación incluye la investigación de campo en ecología trófica de carnívoros (como becario de CONICET, Argentina) y estudios de filosofía de la ciencia con Mario Bunge (Montreal, 2000), de quien ha traducido otros cuatro libros. Actualmente es miembro del Grupo de Investigación en Ecología de Comunidades de Desierto (ECODES, Argentina) y del Grupo de Estudios Humanísticos sobre Ciencia y Tecnología (GEHUCT-UAB). En 2004 fue distinguido con una beca de formación de posgrado de la Fundación Carolina (España).

Diseño de cubierta: Departamento de diseño Editorial Gedisa

Primera edición en tapa dura: 2011, Barcelona

Avenida del Tibidabo, 12 (3º)
08022 Barcelona, España
Tel. (+34) 93 253 09 04
Fax (+34) 93 253 09 05
Correo electrónico: gedisa@gedisa.com
http://www.gedisa.com

ISBN obra completa: 978-84-9784-688-2
eISBN: 9788497847124

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE CULTURA

Esta obra ha sido publicada con una subvención de la Dirección General del Libro, Archivos y Bibliotecas del Ministerio de Cultura, para su préstamo público en Bibliotecas Públicas, de acuerdo con lo previsto en el artículo 37.2 de la Ley de Propiedad Intelectual

Mario Bunge
Tratado de filosofía

1
SEMÁNTICA I: *SENTIDO Y REFERENCIA*

2
SEMÁNTICA II: *INTERPRETACIÓN Y VERDAD*

3
ONTOLOGÍA I: *EL MOBLAJE DEL MUNDO*

4
ONTOLOGÍA II: *UN MUNDO DE SISTEMAS*

5
GNOSEOLOGÍA Y METODOLOGÍA I: *EXPLORACIÓN DEL MUNDO*

6
GNOSEOLOGÍA Y METODOLOGÍA II: *EXPLICACIÓN DEL MUNDO*

7
GNOSEOLOGÍA Y METODOLOGÍA III: *FILOSOFÍA DE LA CIENCIA Y DE LA TÉCNICA*

8
ÉTICA: *LO BUENO Y LO JUSTO*

Prefacio general al *Tratado*

Este volumen forma parte de un amplio *Tratado de Filosofía*. La obra abarca lo que para el autor constituye el núcleo de la filosofía contemporánea, a saber la semántica (las teorías del significado y la verdad), la gnoseología (las teorías del conocimiento), la metafísica (teorías generales sobre el mundo) y la ética (teorías de los valores y la acción justa).

La filosofía social, la filosofía política, la filosofía del derecho, la filosofía de la educación, la estética, la filosofía de la religión y otras ramas de la filosofía han quedado excluidas del anterior *quadrivium*,[#] ya sea porque han sido absorbidas por las ciencias del hombre o bien porque se las puede considerar aplicaciones tanto de la filosofía básica como de la lógica. Tampoco se ha incluido esta última en el *Tratado*, aunque es parte tanto de la filosofía como de la matemática. La razón de esta exclusión es que la lógica se ha convertido en una materia tan técnica que únicamente los matemáticos pueden abrigar la esperanza de hacer contribuciones originales a este campo. Aquí sólo hemos tomado prestada la lógica que nos es útil.

La filosofía expuesta en el *Tratado* es sistemática y, en alguna medida, también exacta y científica. En otras palabras, las teorías filosóficas

[#] Hemos dejado sin traducir aquellas expresiones en idiomas diferentes del inglés que, como el vocablo latino *quadrivium* o el término francés *bête noire*, entre otras, son de uso lo bastante frecuente en la comunidad de habla castellana como para representar un problema para el lector de esta obra. [N. del T.]

formuladas en estos volúmenes *(a)* están formuladas en determinados lenguajes exactos (matemáticos) y *(b)* de ellas se espera que sean consistentes con la ciencia contemporánea.

Ahora unas palabras a modo de disculpa por esta tentativa de construir un sistema filosófico. Dado que vivimos en la era del análisis, uno bien podría preguntarse si todavía hay sitio –fuera de los cementerios de ideas– para la síntesis filosófica. La opinión del autor es que el análisis –aunque necesario– resulta insuficiente, excepto, claro, para la destrucción. La finalidad última de la investigación teórica, ya sea en filosofía, ciencia o matemática, es la construcción de sistemas, vale decir, de teorías. Más aún, esas teorías deben estar articuladas en sistemas en lugar de estar aisladas y, mucho menos, ser mutuamente incompatibles.

Una vez que tenemos un sistema, podemos pasar a desmontarlo. Primero el árbol, después el serrín. Y una vez alcanzada la etapa del serrín, hemos de pasar a la siguiente, a saber, la construcción de nuevos sistemas. Hay tres razones para ello: porque el universo es, él mismo, sistémico; porque ninguna idea puede tornarse completamente clara, a menos que se halle incluida en algún sistema, y porque la filosofía del serrín es bastante aburrida.

El autor dedica esta obra a su profesor de filosofía

Kanenas T. Pota

como agradecimiento por su consejo: «Haz tu propio intento. Tu recompensa será hacerlo, tu castigo haberlo hecho».

Índice de *Ontología I*

Prefacio a *Ontología I*

Este libro y su compañero, el Volumen 4 de nuestro *Tratado*, se ocupan de las características y pautas básicas del mundo real. Su título conjunto bien podría ser *La estructura de la realidad*. Se trata, por tanto, de un trabajo sobre ontología, metafísica, cosmología filosófica o teoría general de sistemas. Nuestro intento se alinea con los de una tradición que –aunque difamada– es antigua y noble: la de los filósofos presocráticos, Aristóteles, Tomás de Aquino, Descartes, Spinoza, Leibniz, Hobbes, Helvecio, Holbach, Lotze, Engels, Peirce, Russell y Whitehead. A la vez, empero, nuestro trabajo se aleja de la tradición en lo concerniente al método. En realidad, nuestro objetivo es tomar el rico legado de problemas y pistas que hemos heredado de la metafísica tradicional, sumarle las presuposiciones ontológicas de la investigación científica contemporánea, añadirle nuevas hipótesis que sean compatibles con la ciencia del momento y elaborar el conjunto con ayuda de algunas herramientas matemáticas.

El resultado final de nuestra investigación es, como el de muchas empresas metafísicas del pasado, un sistema conceptual. Esperamos que este sistema no discrepe en forma absurda de la razón y la experiencia. Además, esperamos que sea tanto exacto como científico: exacto en el sentido de que las teorías que lo componen tengan una estructura matemática definida y científico en que esas teorías sean coherentes –y, además, bastante cercanas– con la ciencia o, mejor dicho, con la mayor parte del conocimiento científico. Más aún, en la medida que tengamos éxito en nuestra empresa, la ciencia y la ontología emergerán como ámbitos que, en lugar de ser disjuntos, se superponen. Las diversas ciencias son ontologías regionales y la ontología es una ciencia general. Después de todo, cada problema científico sustantivo es un subproblema del problema de la ontología, a saber: *¿Cómo es el mundo?*

Tras un largo período en la clandestinidad, el discurso metafísico se ha tornado respetable una vez más. Sin embargo, no hablaremos de ontología extensamente, salvo en la Introducción. En lugar de ello, haremos ontología. En el camino intentaremos mostrar la estructura matemática de nuestros conceptos y sacaremos el máximo provecho posible de la ciencia. Puesto que es sistemática, nuestra ontología decepcionará al historiador. Dado que, en su mayor parte, es matemática, la hará a un lado el amante de los grandes sistemas verbales (aunque en ocasiones profundos y fascinantes), por no mencionar al amante de las cuestiones verbales mezquinas. Además, por estar orientada hacia la ciencia, no atraerá al amigo de lo esotérico. En efecto, nos ocuparemos de objetos concretos tales como átomos, campos, organismos y sociedades. Nos abstendremos de hablar de aquello que no sea cosas concretas ni propiedades de ellas. Toda ficción que aparezca en nuestro sistema será un artefacto útil para dar cuenta de la realidad. (Ya nos ocupamos de los constructos en los Volúmenes 1 y 2 de esta obra).

Las primeras ideas para este trabajo se me ocurrieron mientras intentaba axiomatizar algunas teorías físicas básicas que involucran conceptos ontológicos, tales como los de cosa, propiedad, posibilidad, cambio y espaciotiempo, ninguno de los cuales es de propiedad exclusiva de la física, sino que pertenecen, todos ellos, al trasfondo metafísico de esta ciencia, es decir, a la protofísica (Bunge, 1967b). El primer plan de esta obra fue concebido un luminoso día de junio de 1966, mientras viajaba de Friburgo de Brisgovia a Ginebra por invitación de Jean Piaget. Desde entonces he estado trabajando en este proyecto de forma intermitente, unas veces estimulado por lo que parecía un gran plan y otras inhibido por las dificultades que iban surgiendo en su realización. El resultado es un sistema. Pero no un sistema cerrado y final. Hay muchísimo espacio para mejorarlo y, por supuesto, también para desarrollos divergentes.

Este volumen se ocupa de los conceptos de sustancia, forma (o propiedad), cosa (u objeto concreto), posibilidad, cambio, espacio y tiempo. El volumen que lo acompaña, *Un mundo de sistemas*, abordará los conceptos de sistema, novedad, biosistema, psicosistema y sociosistema.

Agradecimientos

Es un placer para mí agradecer a las diversas generaciones de estudiantes, curiosos e impiadosos, que sobrevivieron a mis cursos de ontología, en la Universidad McGill y en la Universidad Autónoma de México, entre 1969 y 1976. También estoy en deuda con los profesores Rutherford Aris (ingeniería química, Minnesota), Thomas A. Brody (física, UNAM, México), Máximo García Sucre (física, IVIC, Caracas), Tomás Garza (IIMAS, UNAM, México), Andrés J. Kálnay (física, IVIC, Caracas) y Roberto Torretti (filosofía, Puerto Rico) por sus comentarios críticos y sugerencias. Mis antiguos asistentes de investigación, los doctores David Salt y Gerhard Vollmer aportaron diversos comentarios útiles. Mi asistente de investigación, Robert Blohm contribuyó a hacer el texto más claro, mejoró su gramática e hizo preguntas que aún aguardan respuesta. Pero mi mayor deuda es para con mis antiguos investigadores asociados, los profesores Adalberto García Máynez (matemática, IPN, México), William E. Hartnett (matemática, SUNY, Plattsburgh) y Arturo A. L. Sangalli (matemática, Ottawa), ninguno de los cuales consideró que la amistad fuera un obstáculo para el rigor.

La Fundación Alexander von Humboldt (Alemania) financió mis primeras incursiones en la intersección de la física con la metafísica (1965-1966). El Consejo de Canadá contribuyó a este proyecto otorgándome subsidios de investigación (1969-1972, 1974-1976), uno de ellos en nombre de la Fundación Killam. Además, la Fundación John Simon Guggenheim Memorial me otorgó una beca que me permitió pasar un

año feliz y fructífero (1972-1973). Comencé a escribir este libro mientras disfrutaba de esa beca, en el ETH de Zúrich. Estoy agradecido a todas estas instituciones por su apoyo, así como a los profesores Gerhard Huber y Peter Huber, por su hospitalidad en el ETH. Por último, pero no por ello menos importante, agradezco a mi guía en el fascinante y desconcertante laberinto mexicano, el profesor Fernando Salmerón, director del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM, donde este volumen tomó su forma final, durante el año académico 1975-1976.

MARIO BUNGE

Prólogo del autor a la edición española[#]

La filosofía se ha desarrollado vigorosamente en España y en Hispanoamérica en el curso de las últimas décadas. Se ha desarrollado al punto de que ya tenemos poco que aprender de la filosofía alemana, la que aún se está recuperando del desastre de 1933, y menos todavía de la filosofía francesa, que desde hace más de un siglo se arrastra a la zaga de la retaguardia alemana.

Francisco Romero, el filósofo argentino de origen español, decía con razón que en todos los pueblos la filosofía pasa por tres etapas: la adhesión entusiasta y dogmática a una escuela, el estudio crítico de la filosofía toda y la creación original. Creo que algunos países de habla hispana están pasando de la segunda etapa a la tercera.

Es verdad que aún se importan, habitualmente con retraso, modas filosóficas europeas. (La diferencia es que hoy se copia a Oxford o a París, en lugar de a Friburgo). También es cierto que la mayoría de los estudios filosóficos son de carácter apologético o crítico. Pero ya hay un comienzo bien claro de investigación original en áreas de la filosofía que hace un par de décadas solíamos evitar o incluso ignorar. Entre ellas se destacan la lógica matemática y la semántica formal, la teoría del conocimiento y la epistemología, la ontología seria y la axiología, así como la ética y la filosofía de la técnica.

En nuestros países hay literalmente miles de profesores de filosofía

[#] Original en castellano. [N. del T.]

y algunas decenas de investigadores originales. Muchos de ellos están al día en la literatura filosófica internacional y algunos escriben libros o artículos que contienen aportaciones nuevas a la filosofía. Hay diversas sociedades nacionales de filosofía y docenas de revistas filosóficas, algunas de ellas bilingües o aun trilingües, entre ellas por lo menos seis de buen nivel. También hay congresos nacionales e internacionales de filosofía.

Todos estos son hechos nuevos ocurridos en el curso de las últimas décadas. Ellos nos permiten afirmar no sólo que hay filosofía en España y en Hispanoamérica, sino que hay hoy una filosofía hispanoamericana original no menos importante que la alemana, la italiana o la francesa. Esta novedad es motivo de legítimo orgullo para todos quienes, de una manera u otra, han contribuido a construir esta filosofía y, muy particularmente, para quienes lo han hecho en condiciones materiales y políticas difíciles.

Pero la existencia de una vigorosa filosofía hispanoamericana no debiera ser motivo de complacencia. Primero, porque no está sino en los comienzos de la etapa creadora. Segundo, porque la filosofía es una planta muy delicada, que no prospera sino al aire libre, el que a menudo escasea en nuestros países.

Me alegra sobremanera que la prestigiosa Editorial GEDISA haya decidido publicar una versión castellana de mi *Tratado*. Y me honra el que Rafael González del Solar, joven ecólogo y filósofo que ya tradujo siete de mis libros, haya aceptado ocuparse de esta tarea, tan pesada como delicada. Finalmente, he aprovechado esta ocasión para corregir algunos errores que aparecen en la edición original.

MARIO BUNGE

Símbolos especiales

$x \rhd y$	*x actúa* sobre *y*
$c = a \circ b$	*c* es la *asociación* de los individuos *a* y *b*
$A \times B$	El *producto cartesiano* de los conjuntos *A* y *B*
$\langle s, s', g \rangle$	El *cambio* del estado *s* al estado *s′* a lo largo de la curva *g*
C	Conjunto de constructos (conceptos, proposiciones o teorías)
$\mathscr{C}(x)$	La *composición* de la cosa *x*
$x \rceil y$	*x* e *y* están *separados* [*detached*]
$E_{\mathbb{L}}(x)$	El *espacio de sucesos* de la cosa *x*
$E_A x$	*x existe* en *A*
$\mathscr{E}(A)$	La *extensión* del atributo (predicado) *A*
$f: A \to B$	La *función f* aplica el conjunto *A* en el conjunto *B*
F	Conjunto de *hechos*
$\mathbb{F} = \langle F_1, F_2, \ldots, F_n \rangle$	*Función de estado*
$h(x)$	La *historia* de la cosa x
$a \mid c \mid b$	*c se interpone* entre *a* y *b*
$c = a \dotplus b$	*c* es la *yuxtaposición* de *a* y *b*
$k(\mathbb{R})$	La *clase* de cosas que comparten todas las propiedades de $\mathbb{R}$
$G_{\mathbb{L}}(x)$	Conjunto de *transformaciones legales* de los estados de *x*
$\mathbb{L}(x)$	Las *leyes* de la cosa *x*

$\langle x, y \rangle$	*Par ordenado* de x e y
$\square$	*Cosa nula*
$x \sqsubset y$	x es *parte* de y
$\mathcal{P}(S) = 2^S$	*Conjunto potencia* de S
$P \preccurlyeq Q$	La propiedad P *precede* a la propiedad Q
$\mathbb{P}$	El conjunto de *todas las propiedades*
$p(x)$	Colección de *propiedades de la cosa* x
Pr	Función de *probabilidad*
$\mathbb{R}$	La *recta real*
$S_{\mathbb{L}}(x)$	*Espacio de estados legal* de la cosa x
$c = a \dot{\times} b$	c es la *superposición* de las cosas a y b
S	Conjunto de *todos los individuos sustantivos* (*concretos*)
$\mathcal{S}(P)$	*Dominio de la propiedad* P
$[T] = \inf T$	*Agregación aditiva* de todas las cosas en T
$(T) = \sup T$	*Agregación multiplicativa* de todas las cosas en T
Θ	El *conjunto de todas las cosas*
$\square$	El *mundo* o *universo*

Introducción

En esta Introducción ofreceremos un esbozo de aquello de lo que se ocupa la ontología o metafísica y situaremos esta disciplina en el mapa del conocimiento. Esto es necesario, porque la palabra 'ontología'# se puede interpretar de diversas maneras. Y también a causa de la mala fama –merecida en la mayoría de los casos– que ha tenido hasta hace poco.

1. Los problemas ontológicos

Las concepciones ontológicas (o metafísicas) son respuestas a preguntas ontológicas. Y las preguntas ontológicas (o metafísicas) son preguntas con un alcance extremadamente amplio, como en el caso de «¿El mundo es material, ideal o tal vez neutral?», «¿Existe la novedad radical y, si es así, cómo se produce?», «¿Existe el azar objetivo o sólo una apariencia de éste debida a la ignorancia humana?», «¿Cuál es la relación entre lo mental y lo físico?», «¿Una comunidad es algo más que el conjunto de sus miembros?» y «¿Hay leyes de la historia?».

Del mismo modo que la religión nació de la vulnerabilidad, la ideología del conflicto y la tecnología de la necesidad de dominar el entorno, es probable que la metafísica –al igual que todas las ciencias teóricas– sea hija del sobrecogimiento y la perplejidad ante la ilimita-

Utilizaremos comillas simples (' ') para indicar los símbolos, comillas inglesas (" ") para designar los constructos y ángulos (⌜⌝) para nombrar las proposiciones (un tipo de constructo). En esta traducción usamos, además, las comillas españolas («»), según el uso habitual de las comillas en el idioma, básicamente para enmarcar la reproducción de citas textuales, para resaltar la expresión entrecomillada o para indicar un sentido especial (por ejemplo, irónico) de la misma. [N. del T.]

da variedad y aparente caos del mundo fenoménico, vale decir, de la totalidad de la experiencia humana. Como los científicos, los metafísicos buscaban –y buscan– la unidad en la diversidad, las pautas en el desorden, la estructura entre el amorfo montón de los fenómenos y, en algunos casos, hasta un sentido, dirección o finalidad en la realidad como totalidad. Por consiguiente, la metafísica y la ciencia tienen el mismo origen. No obstante, se las puede distinguir en cierta medida por el alcance de sus problemas. Mientras que el científico se dedica a cuestiones de hecho bastante específicas, el ontólogo se ocupa de todos los dominios fácticos; se trata de un generalista, no de un fragmentarista. Su empresa es más ambiciosa y, por ello, también más arriesgada que cualquier proyecto científico. Pero ambas empresas no son mutuamente excluyentes y, en realidad, en ocasiones son imposibles de distinguir: una pregunta científica muy general puede ser una pregunta ontológica especial.

No es fácil caracterizar las preguntas ontológicas, ni siquiera lo es reconocer que tienen sentido, aisladamente de los marcos conceptuales o las teorías correspondientes. Piénsese en los siguientes ejemplos:

(i) ¿Por qué hay algo en lugar de nada?
(ii) ¿La esencia precede a la existencia?
(iii) ¿Qué es ser?
(iv) ¿Qué es el uno?
(v) ¿Qué existe?

La primera pregunta tiene sentido en todos los sistemas creacionistas de teodicea, tal como el de Leibniz, pero sólo en ellos. La segunda, ininteligible a primera vista, es muy razonable en una metafísica platónica, para la cual las esencias son ideales y previas a los existentes físicos. La tercera pregunta adquiere significado si se la reformula del siguiente modo: «¿Cuáles son las características comunes a todos los existentes?». La cuarta pregunta me la hizo mi hijo Eric cuando tenía 18 meses de edad. Para él debe de haber tenido sentido en su propia *Weltanschauung* y reescribiendo "uno" con U mayúscula es posible atribuírsela sin riesgo a Parménides. La quinta –que es como Quine parece entender la tarea de la ontología– exige bien un inventario exhaustivo de los existentes –una empresa para científicos de orientación baconiana– o bien una respuesta simplista, tal como «Hay cuerpos y personas» (Strawson, 1959).

Las preguntas anteriores carecen de sentido en el sistema que desarrollaremos en este libro. En cambio, los siguientes problemas sí que tienen sentido en él y, además, se les puede dar respuestas definidas:

(vi) ¿Las cosas son manojos de propiedades? (No).
(vii) ¿Hay clases naturales? (Sí).
(viii) ¿Es posible el cambio sin un sustrato inmutable? (Sí).
(ix) ¿Cómo surgen las propiedades emergentes? (Esperen al Volumen 4).
(x) ¿Qué es la mente? (Ídem).

Estas preguntas son tanto fundamentales como extremadamente generales. Además, se trata de preguntas fácticas. Su característica es que son abarcadoras o transdisciplinarias, en lugar de ser especiales. Hay tantas de estas preguntas como las que deseemos hacer. Cuanto más conocemos, más problemas podemos plantear y menos definitivas son nuestras soluciones. Por consiguiente, en ambos aspectos –contenido fáctico y carácter abierto– las preguntas ontológicas no difieren de las científicas. (Para éstas, véase Bunge, 1967a, Vol. I, Cap. 4). Se distinguen únicamente por su alcance y, con frecuencia, esta diferencia es nula, tal como veremos en la Sección 7.

2. El tema de la ontología

En la actualidad, hay al menos diez concepciones acerca de cuál es el tema de la ontología (o metafísica), que tienen seguidores:

(i) La metafísica es un discurso (en griego antiguo o en alemán moderno) sobre *el Ser*, *la Nada* y *el Dasein* –la existencia humana– (Heidegger, 1953). Objeción: es imposible, porque semejante discurso resulta ininteligible y, además, es manifiestamente irracional. Si el lector abriga dudas, lea a Heidegger o Sartre.

(ii) La metafísica es una colección de *creencias instintivas* –por oposición a intelectuales– (Bergson, 1903). Objeción: si la metafísica es una disciplina, no puede recoger ciegamente las ideas heredadas, sean éstas «instintivas» o provenientes de la tradición. El hecho de que los hombres de las cavernas tuvieran creencias «instintivas», sin someterlas a la crítica metódica, no justifica que nosotros tengamos una actitud que jamás nos hubiera permitido salir de la caverna.

(iii) La metafísica es la *justificación de las creencias instintivas*: «la búsqueda de razones –buenas, malas o indiferentes– para lo que creemos por instinto» (Strawson, 1959, p. 247). Objeción: no cabe duda de que debemos estudiar nuestros dogmas menos ilustrados, algo que debe hacer el antropólogo cultural. Se supone que los estudiosos –sean científicos o metafísicos– deben examinar, refinar o rechazar ese punto de partida y, sobre todo, proponer ideas nuevas. Confirmarle su primitiva metafísica al hombre de las cavernas es peor que compartirla.

(iv) La metafísica es «*la ciencia de las presuposiciones absolutas*» (Collingwood, 1940). Vale decir, la metafísica es el estudio de todas las presuposiciones de todas las disciplinas, siempre que sean absolutas, es decir, que se oculten detrás de toda pregunta y toda respuesta y que, además, sean incuestionables. Esta última es una opinión respetable. Sin embargo, es vulnerable a las siguientes objeciones: *(a)* la mayoría de las presuposiciones no son absolutas, sino que viven y mueren con la teoría especial a la que corresponden: consúltese la historia de las ideas; *(b)* aun cuando la metafísica estudia algunas de las presuposiciones de la ciencia, no se ocupa de todas ellas, puesto que algunas son puramente formales (lógicas o matemáticas) y otras son metodológicas.

(v) La metafísica se ocupa de *todo lo pensable*, ya sea que exista realmente o no, sea razonable o absurdo: trata de «la totalidad de los objetos de conocimiento» (Meinong, 1904, en Chisholm, 1960, pp. 78-79). Objeciones: *(a)* no es posible ninguna teoría que abarque tanto los objetos concretos como los conceptuales; en particular, las verdades lógicas pueden referirse a cualquier cosa, pero no describen ni representan ningún objeto salvo conceptos lógicos («o», «todos», etc.); *(b)* los objetos que sabemos que son fantásticos –tales como Pegaso– son imaginables, pero no constituyen la materia de estudio de ninguna disciplina: en estos casos, lo único que se puede estudiar científicamente son nuestras creencias acerca de ellos.

(vi) La metafísica es *el estudio de los objetos que no son ni físicos ni conceptuales*; vale decir, de los seres espirituales y, en primer lugar, de Dios y su corte celestial. Esta opinión es bastante popular y fue expresada en ocasiones por el propio Tomás de Aquino (1259, Libro I, Capítulo IV). Objeción: éste es el objeto de estudio de la teología, la cual ya no se acepta como parte de la filosofía.

(vii) La metafísica es *la ciencia del ser en cuanto tal*: a diferencia de las ciencias especiales, cada una de las cuales investiga una clase de ser, la metafísica investiga «todas las especies del ser en cuanto ser» y «los atributos que le pertenecen en cuanto ser» (Aristóteles, *Metafísica*, Libro IV, Capítulos 1 y 2). Esto es lo que, en la actualidad, llamaríamos ontología *general*, por contraste con las diversas ontologías *especiales* o *regionales* (de lo biológico, lo social, etc.). Por cierto, el Estagirita captó correctamente la relación entre la metafísica (general) y las ciencias (especiales). Con todo, debemos oponerle las siguientes objeciones: *(a)* la formulación es demasiado imprecisa, tanto que ha sugerido a algunos que el devenir no pertenece al ámbito de la metafísica, opinión que el Estagirita, ciertamente, no compartía, ya que uno de sus intereses principales era el cambio; *(b)* una ciencia del ser puro es un contrasentido, porque no tiene objeto de estudio definido (Collingwood, 1940, pp. 10-11).

(viii) La metafísica es *el estudio del cambio*: de los sucesos y de los procesos, ya que esto es lo que las cosas son (Whitehead, 1929). Objeción: un suceso es un cambio de condición (estado) de una cosa y, por lo tanto, no se lo puede estudiar separadamente de ésta, al igual que no se pueden estudiar las cosas separadamente de sus cambios.

(ix) La metafísica se ocupa de *todos los mundos posibles*: se trata de una interpretación ontológica de la lógica. Un sistema metafísico es un conjunto de enunciados que satisface dos requisitos: *(a)* «El horizonte [conjunto de referentes] de un enunciado metafísico significativo debe exceder de manera inequívoca el horizonte de un enunciado físico» y *(b)* «Un enunciado metafísico no debe ir a la zaga de un enunciado físico en lo que se refiere a exactitud y estabilidad [*Standfestigkeit*]» (Scholz, 1941, pp. 138-139). Aunque no tengo nada que decir sobre el requisito de exactitud, no estoy de acuerdo con los demás. Mis objeciones son: *(a)* el hecho de que la lógica pueda referirse (o aplicarse) a algo no la convierte en una teoría de todos los mundos posibles; *(b)* si bien algunos enunciados metafísicos se refieren a todas las cosas concretas, otros se refieren a cosas que pertenecen a ciertos géneros, tales como los objetos físicos, los organismos o las sociedades; *(c)* los enunciados metafísicos no pueden ser menos falibles que los enunciados científicos (físicos, por ejemplo).

(x) La metafísica es la *cosmología general o ciencia general*: es la ciencia que se ocupa de toda la realidad, que no es lo mismo que la realidad como totalidad o todo. «Su tema es el estudio de las características más generales de la realidad y de los objetos reales» (Peirce, 1892-93, p. 5). «Se ocupa de todas las preguntas de carácter general y fundamental respecto de la naturaleza de lo real» (Montagu, 1925, p. 31; véase también Woodger, 1929; Williams, 1937; y Quinton, 1973). En otras palabras, la metafísica estudia los rasgos genéricos (no específicos) de todos los modos del ser y el devenir, así como de las características peculiares de los principales géneros de existentes. Ésta es la tarea que Hegel (1812-16) asignó a la «lógica objetiva» y que Engels (1878) atribuyó a lo que luego fue conocido como materialismo dialéctico.

Adoptaremos esta última posición: sostendremos que el ontólogo debe investigar los principales rasgos del mundo real tal como los conoce la ciencia y que debe proceder de un modo claro y sistemático. El ontólogo debe reconocer, analizar e interrelacionar aquellos conceptos que le permiten producir una representación unificada de la realidad. (Entendemos aquí la palabra "realidad" en un sentido estricto –no platónico–, es decir, como el mundo concreto). En este sentido, el lector es real y también lo es todo proferimiento de la palabra "lector", pero el concepto que esa palabra designa no es real.

Puesto que los objetos que no son reales tienen propiedades que no son físicas, si cumplen alguna ley, ninguna de ellas será una ley física. Por este motivo, es imposible hacer afirmaciones que no sean tautológicas y que, a la vez, sean válidas para todos los objetos: la ontología tal como la concibieron Meinong y Leśniewski, vale decir, como una teoría general distinta de la lógica que se ocupe de los objetos de toda clase, es imposible. También lo es la versión moderna de esta doctrina, es decir, la teoría general de sistemas, concebida como una teoría matemática «que se ocupa de las explicaciones de los fenómenos observados o constructos conceptuales, en términos de conceptos de procesamiento de la información y toma de decisiones» [Mesarović, en Klir (1972, p. 253)]. Si el «sistema» es puramente conceptual, como en el caso de un sistema numérico, no se puede combinar con sistemas materiales para formar supersistemas, no puede interaccionar con ellos, no obedece leyes de la misma clase y, en consecuencia, no se lo puede estudiar con los métodos especiales de la ciencia fáctica. Cualquiera sea nuestra posición con respecto a la dualidad constructo-cosa, sea que asumamos una perspectiva platónica o una materialista, sea que deseemos reducir los objetos de una clase a los de otra, debemos mantener la dualidad a nivel metodológico. (Recuérdese el Volumen 1, Capítulo 1, Sección 1).

Dejaremos a las ciencias formales –es decir, a la lógica, la matemática y la semántica– la tarea de estudiar (y crear) objetos formales o ideales de la clase de los que se rigen por leyes, tales como los conjuntos y las categorías. (Más sobre esto en la Sección 6). Consideramos que la ciencia (natural o social) y la ontología son las únicas disciplinas que se ocupan de los objetos concretos. Y asignaremos a la ontología la tarea de construir las teorías más generales acerca de estos objetos y sólo de ellos. Pero, ¿es posible semejante empresa?

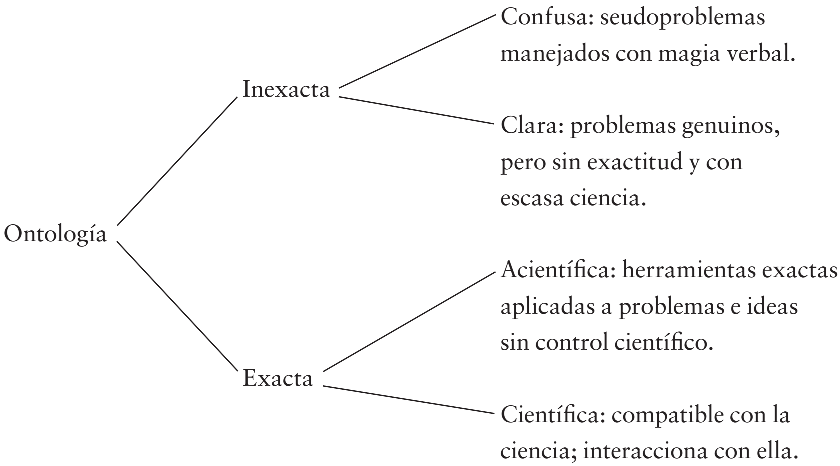
3. ¿Es posible la ontología?

Hasta la primera revolución científica, a comienzos del siglo XVII, la metafísica se daba por sentada y, habitualmente, se la consideraba adjunta a la teología. A partir de entonces, el éxito formidable de la ciencia y el fracaso de los grandes sistemas metafísicos –principalmente los de Aristóteles, Tomás de Aquino, Descartes y Leibniz; pero después los de Hegel y Heidegger– sugirieron, pero no «demostraron», que la metafísica se había tornado imposible y que había sido reemplazada por la ciencia.

Quienes niegan la posibilidad de la metafísica como empresa intelectual genuina y creativa, sostienen que las oraciones metafísicas no tienen significado (y que, por tanto, no son ni verdaderas ni falsas) o que sí lo tienen, pero no son comprobables; o que, si son comprobables, entonces son falsas; o que, exceptuando las cuestiones de su significado y su verdad, esas oraciones no tienen ningún valor práctico o heurístico. Que muchos enunciados metafísicos –por ejemplo, la mayoría de los de Hegel y todos los de Heidegger– no tienen significado, es cierto y es triste, pero eso sólo habla de la mala metafísica. (Asimismo, el hecho de que la mayoría de los enunciados acerca de lo mental no sean científicos no descalifica a la psicología como ciencia). Que la verdad de las proposiciones metafísicas no puede ponerse a prueba de la misma manera en que se comprueban los enunciados científicos es correcto, pero esto no demuestra, de ninguna manera, que las primeras estén fuera del alcance de la crítica y la confirmación. Que numerosas, tal vez la mayoría de las proposiciones metafísicas, han resultado falsas y que muchas más serán refutadas, también es verdad, pero eso no hace a la metafísica ni una pizca menos posible que la ciencia, que se encuentra en el mismo aprieto. Por último, que la metafísica no tiene relevancia heurística o incluso práctica, no es correcto. Por un lado, la investigación científica utiliza numerosas hipótesis ontológicas, como veremos en la Sección 7. Por otro lado, el núcleo filosófico de toda cosmovisión e ideología es, para bien o (normalmente) para mal, un sistema ontológico junto con un sistema de valores. En resumen, no es verdad que la metafísica se haya tornado imposible tras el nacimiento de la ciencia moderna. Lo que se ha hecho imposible *de jure* –aunque, lamentablemente, no *de facto*– es la ontología acientífica.

El escéptico tal vez no niegue la posibilidad de la ontología, pero considerará que ésta no es concluyente. En eso estamos de acuerdo: en efecto, la metafísica no es concluyente, pero tampoco lo es la ciencia fáctica. El conocimiento genuino no se caracteriza por su certeza, sino por su posibilidad de corrección, en un interminable esfuerzo por conseguir la verdad y la profundidad. Esto es tan válido para el conocimiento ontológico como lo es para el conocimiento científico. Dejemos que el escéptico critique todos los sistemas metafísicos: nosotros, mantengámoslo ocupado ofreciéndole nuevas teorías metafísicas.

La ontología no sólo es posible, sino que actualmente goza de buena salud. (Dicho sea de paso, nunca dejó de existir: sólo pasó a la clandestinidad por un tiempo). Una mirada superficial a la literatura corroborará esta afirmación. Además, hace muy poco que la metafísica ha experimentado una revolución tan profunda que nadie la ha notado: en efecto, la ontología se ha hecho matemática y ahora es cultivada por ingenieros e informáticos. De hecho, en los últimos treinta años, diversos tecnólogos han desarrollado teorías exactas acerca de las características más básicas de entidades o sistemas de diferentes géneros. La teoría de la conmutación, la teoría de redes, la teoría de autómatas, la teoría de sistemas lineales, la teoría de control, la teoría matemática de máquinas y la teoría de la información se encuentran entre los vástagos metafísicos más jóvenes de la tecnología contemporánea (Bunge, 1971, 1974d, 1977a). Esta clase de ontología, tanto exacta como científica, es la que deseamos desarrollar y sistematizar. El lugar que ocupa en el mapa de la metafísica puede verse en la figura siguiente. (Las variedades no académicas de metafísica, esotéricas en su mayoría, no se han incluido).



4. El método de la ontología

La ontología que queremos es tanto exacta como contigua a la ciencia. Desde luego, "exacta" significa que es lógica y matemática en su forma. En consecuencia, la metafísica exacta es el conjunto de teorías metafísicas construidas con ayuda explícita de la lógica o de la matemática. Por ejemplo, una teoría matemática de la síntesis de totalidades, a partir de unidades pertenecientes a niveles inferiores, cumpliría los requisitos para considerarla un trabajo de metafísica exacta. No así una teoría que, independientemente de lo interesante que fuera, abordase el mismo problema en términos de conocimiento corriente: permanecería en el nivel de la metafísica inexacta, a causa de la ambigüedad e imprecisión del lenguaje ordinario.

Nos interesa la variedad científica de la metafísica exacta, o sea, las teorías ontológicas que, además de ser exactas, son científicas. La diferencia entre «exacta» y «científica» es la que sigue: la última supone la primera, pero no viceversa. Vale decir que hay sistemas de metafísica exacta que están alejados de la ciencia fáctica (natural y social). Por ejemplo, Leibniz, Bolzano, Scholz y Montague eran metafísicos exactos, pero concebían la metafísica como una ciencia a priori (véase Bolzano, 1849, p. 29); en consecuencia, su obra no está a tono con la ciencia de su época. Lo mismo ocurre con la mayoría de los ensayos sobre mundos posibles, lógica temporal y causalidad, los cuales a menudo son exactos, pero están alejados de la ciencia y en ocasiones son incompatibles con ésta. Hay poca médula filosófica en estas teorías y, cuando la hay, está rancia.

En cuanto a la metafísica científica, todavía es, en gran medida, un programa. Incluso Peirce (1892-93), tal vez el primero en utilizar esta expresión, no avanzó más allá de algunos comentarios programáticos. Para poner en práctica ese programa, necesitamos algunas pautas. He aquí algunas de las *regulae philosophandi more geometrico et scientifico*[#] por las cuales intentaremos regirnos:

R1 *Tener en cuenta la tradición metafísica*, *pero sin contentarnos con ella*: revisar y corregir el acervo tradicional de problemas y soluciones, planteando nuevos problemas e intentando nuevas soluciones a preguntas tanto antiguas como nuevas.

R2 *Evitar las palabras que no transmitan ideas claras*: la oscuridad no es un indicador de profundidad sino de confusión y hasta de fraude intelectual. En cuanto a las ideas confusas –todas las ideas lo son al nacer– inténtese refinarlas.

R3 *Intentar formalizarlo todo*: sea lo que fuere eso que es digno de ser dicho en cada disciplina teórica, incluida la metafísica, se lo puede y se lo debe decir con el auxilio de la matemática, en bien de la claridad y la posibilidad de sistematización.

R4 *No confundir simbolización con matematización*: la taquigrafía no dilucida ni sistematiza. Un constructo no es exacto –y se lo puede considerar fraudulento, o sea *flatus vocis*, en lugar de un concepto genuino– a menos que se le asigne un estatus matemático definido (como conjunto, relación, función, grupo, espacio topológico o lo que fuere).

R5 *Luchar por el rigor*, *pero sin permitir que éste mine el vigor:* la exactitud es un medio, no un fin. Se trata de un medio para conseguir claridad, sistematicidad, fuerza [argumental] y controlabilidad. La insistencia en el rigor por el rigor mismo y al precio de resignar intuiciones profundas es un indicio de esterilidad.

R6 *Explicar lo concreto por medio de lo abstracto*, en lugar de a la inversa. Inviértase la recomendación de Russell, para reemplazar las entidades «inferidas» (no observadas, hipotéticas) por construcciones lógicas a partir de las impresiones sensibles. Imitar a los atomistas y a quienes investigan la teoría de campos. Admitir las propiedades observa-

[#] Lo que puede traducirse como «reglas del filosofar axiomático y científico». [N. del T.]

bles, manifiestas y secundarias sólo si se las puede analizar en términos de propiedades primarias.

R7 *Mantenerse alejados del subjetivismo;* evitar, por ejemplo, las definiciones formuladas en términos de experiencia personal. Ejemplo de estrategia a evitar: Whitehead (1920, p. 13) definió el concepto de hecho como «el punto de llegada indiferenciado de la percepción sensorial». Toda dilucidación ontológica, aun de conceptos referentes a fenómenos subjetivos, debe formularse en términos objetivos (sin alusión a un sujeto).

R8 *No reificar lo que no sea una cosa* y no tratar como una entidad independiente lo que no es sino el resultado de una abstracción. Por ejemplo, no hablar de sucesos aparte de las cosas cambiantes o como constitutivos de éstas.

R9 *Luchar por la sistematicidad*: intentar construir teorías y establecer vínculos entre ellas. No introducir conceptos que aún no han sido dilucidados, salvo a modo de comentarios extrasistemáticos: proceder de manera ordenada y, si es necesario, axiomática. El análisis filosófico es indispensable, pero no basta y, en todo caso, se lo realiza mejor en el contexto de un sistema.

R10 *Controlar* no sólo la consistencia interna de las hipótesis y teorías metafísicas, sino también su compatibilidad con la ciencia contemporánea e incluso su contigüidad a ésta.

Aunque no los garantiza, el cumplimiento de estas reglas debe ayudarnos a desarrollar marcos ontológicos –y hasta teorías– orientados a la ciencia.

5. Los objetivos de la ontología científica

Toda actividad científica tiene dos objetivos intelectuales posibles: el análisis o la síntesis, vale decir, desmontar o construir. El análisis filosófico examina ciertos conceptos y proposiciones a fin de hacerlos más claros. La síntesis filosófica crea marcos conceptuales y teorías, no sólo con el fin de dilucidar nociones y enunciados, sino también para comprender lo que ocurre en el mundo. Estas dos operaciones son complementarias, en lugar de mutuamente excluyentes. De hecho, el mejor análisis es el que se realiza en un contexto teórico definido, del mismo modo que la mejor síntesis es la que articula nociones analizadas. En todo caso, es la síntesis y no el análisis la que proporciona cierta comprensión de un ámbito de la realidad o de la experiencia humana. Por tanto, sólo una teoría de la ideación puede dar razón de ésta, no un análisis de la noción de ideación y mucho menos un análisis de la palabra "ideación" según el uso que de ella hace una comunidad dada.

En el caso de la ontología, el análisis se relaciona con todo concepto o proposición metafísicos, o con los candidatos a cualquiera de ellos. En particular, el análisis tiene que ver con las categorías ontológicas –tales como las de cualidad y sociedad– y los principios ontológicos –tales como la hipótesis de que todas las cosas concretas fluyen–. El análisis que esperamos de la ontología científica trata –de forma particular, pero no exclusiva– de las categorías e hipótesis ontológicas que desempeñan un papel –sea heurístico o sea constitutivo– en la investigación científica. Algunas de esas categorías son las de cosa, propiedad, hecho y valor. En cuanto a los principios ontológicos propios de la ciencia, baste mencionar el supuesto de que una sociedad, lejos de ser un conjunto amorfo de individuos o una totalidad que trasciende a los individuos, es un sistema de personas que interaccionan. Más sobre esto en las Secciones 7 y 8.

Con todo, el analista ontológico no tiene por qué limitarse a listar y clasificar las categorías y principios ontológicos que realmente se utilizan –normalmente sin culpa ni disculpa– en la investigación científica. Este ontólogo puede ser más ambicioso y criticar ciertas tesis ontológicas, propuestas por otros filósofos o por científicos, y tal vez hasta proponga sus propias tesis metafísicas. Piénsese, por ejemplo, en la noción genérica u ontológica de suceso mental. Es posible que el analista ontológico no sólo examine las diversas interpretaciones de la expresión 'suceso mental', sino que también exprese una opinión propia; o debería hacerlo si realmente se trata de un filósofo. Pero también es posible que no consiga mucho sin la ayuda de una teoría general (ontológica) de los sucesos (de todo clase) y de otra teoría general (ontológica) –o, por lo menos, un marco conceptual (ontológico)– acerca de lo mental. O sea, si es profundo, el análisis ontológico exige la síntesis o teoría ontológica, o por lo menos un marco conceptual para la misma.

Las teorías ontológicas son, desde luego, las que invocan categorías ontológicas. Una teoría general de los cambios de todo tipo, físicos o mentales, cuantitativos o cualitativos, es una teoría ontológica. Y una teoría de los sucesos mentales de todo tipo –las sensaciones de nuestros procesos viscerales, la percepción de estímulos físicos, la formación de imágenes o conceptos, etc.– también es una teoría ontológica, si bien se trata de una teoría regional, en lugar de una universal. Una ontología completa debe incluir teorías ontológicas tanto *universales* como *regionales*. Las primeras funcionan como marco conceptual de las segundas, las cuales ejemplificarán y, en cierto modo, comprobarán, las primeras. Piénsese otra vez en el caso de los sucesos mentales. En nuestra ontología, el dogma dualista acerca del problema mente-cuerpo no tiene sentido porque presupone que los sucesos mentales son excepcionales, en el sentido de que, a diferencia de todos los demás, no son cambios que ocurren en una cosa concreta. De hecho, en nuestra ontología, todas las cosas y sólo ellas cambian, y todo cambio (suceso o proceso) es una modificación del estado de una cosa concreta. Una vez que se ha adoptado y sistematizado (transformado en una teoría o al menos en un marco conceptual) esta concepción ontológica, ya no queda sitio para los cambios que no lo son de una cosa concreta, ya sean de un electrón o de una neurona, de un cerebro o de una sociedad. Sólo hay una perspectiva acerca de lo mental que es coherente con esa teoría ontológica general: la que afirma que la mente es un tipo de actividad del cerebro (Hebb, 1949). Además, está claro que si se considera cualquier otra alternativa, se ha de mostrar que es coherente con alguna teoría general del cambio. Esto es, ciertamente, posible: una ontología mentalista (por ejemplo, idealista) incluirá una concepción mentalista de lo físico. Pero, desde luego, semejante ontología se opondrá a la física, la química y la biología, ninguna de las cuales es animista. Discutiremos en detalle estos temas en el Capítulo 10 del Volumen 4. La razón para traerlos a colación aquí es defender la opinión de que una ontología hecha y derecha tiene que estar compuesta por teorías –o, como mínimo, por embriones de teorías–, algunas universales y otras regionales, y que esas teorías deben ser coherentes entre sí. No hay salvación fuera del sistema.

De más está decir que cuando usamos la palabra ‘teoría’ nos referimos a un sistema hipotético-deductivo, no a una opinión aislada o a un conjunto poco sistemático de opiniones. En particular, una *teoría ontológica* es una teoría que contiene e interrelaciona categorías ontológicas, esto es, conceptos genéricos que representan componentes o características del mundo. (Nuestro conjunto de categorías incluye las de cosa, propiedad, ley, posibilidad, cambio, espaciotiempo, vida, mente, valor y sociedad). Idealmente, una teoría o sistema ontológico es un sistema, no sólo un conjunto de categorías ontológicas interrelacionadas.

Pero no siempre conseguiremos desarrollar teorías propiamente dichas. En ocasiones, ofreceremos únicamente marcos conceptuales, los cuales son constructos cuya estructura está a medio camino entre la de las opiniones sin forma y la de los sistemas hipotético-deductivos cerrados. (Para el concepto general de marco conceptual, véase la Definición 2.10, Sección 3.4, Capítulo 2, del Volumen 1).

Convendremos en llamar *marco (conceptual) ontológico* a una terna ordenada $\mathbb{C} = \langle S, \mathbb{P}, D \rangle$, sii S es un conjunto de enunciados en el cual sólo aparecen las constantes de predicado de la familia de predicados $\mathbb{P}$, la cual incluye un conjunto no vacío $\mathbb{O}$ de conceptos ontológicos básicos (es decir, de categorías ontológicas) y si, además, la clase de referencia de todo P de $\mathbb{P}$ está incluida en el universo o dominio D de las entidades hipotetizadas, es decir, de los objetos cuya existencia se ha supuesto (en nuestro caso concreto, objetos o cosas). Aunque un marco conceptual no puede reemplazar a una teoría ontológica, sí sirve de matriz a diversos sistemas ontológicos o teorías ontológicas y, por consiguiente, posee capacidad orientadora o heurística. (Para la diferencia entre teoría y marco conceptual, así como para el papel heurístico de este último, véase Bunge, 1974e). En efecto, la mera exhibición de los D y de sus propiedades (vale decir, de los miembros de $\mathbb{P}$) sugiere la formulación de hipótesis (enunciados de S) acerca del modo de ser y devenir de esas entidades supuestas.

Un marco conceptual ontológico puede ser *monista* o *pluralista*, según el dominio D de individuos, así como la colección $\mathbb{P}$ de sus propiedades (y relaciones), se consideren un único género cada uno o la unión de dos o más géneros. (En resumen, el monismo es reduccionista en relación con algún aspecto, mientras que el pluralismo no lo es). Además, ya sea monista o pluralista, un marco conceptual ontológico puede ser bien *espiritualista* o bien *naturalista*, según postule que D incluye o no un conjunto de entidades espirituales (incorpóreas), tales como las almas inmateriales. Pero mientras que para el monismo espiritualista todas las entidades son espirituales y de la misma clase (por ejemplo, sensaciones o ideas), de acuerdo con el espiritualismo pluralista todas las entidades son espirituales, pero hay diversos tipos de ellas y estos no son reducibles a un tipo básico. Además, en tanto que para el naturalismo monista todas las entidades son concretas y de la misma clase (por ejemplo, físicas), el naturalismo pluralista sostiene que, si bien todas las entidades son concretas, hay varias clases de ellas y son mutuamente irreducibles. Las teorías y marcos conceptuales ontológicos que desarrollaremos en este volumen, así como en su continuación, el Volumen 4, serán tanto naturalistas como pluralistas: supondremos que sólo hay existentes concretos, pero defenderemos su variedad cualitativa.

En resumidas cuentas, los objetivos de la ontología científica son *analizar y sistematizar las categorías e hipótesis ontológicas pertinentes para la ciencia*. Éstas son las metas a las que sirve la construcción de teorías y marcos conceptuales contiguos –no de espaldas– a la ciencia.

6. La ontología y las ciencias formales

Las ciencias formales o, al menos, parte de ellas, constituyen a la vez el lenguaje y el esqueleto formal de la ontología científica, la cual presupone, en particular, a la matemática abstracta, incluida la lógica deductiva. La elección de la matemática abstracta como columna vertebral formal de la metafísica es natural, ya que sólo a los sistemas abstractos se les puede asignar interpretaciones alternativas y, en particular, interpretaciones ontológicas alternativas. Las teorías de semigrupos y de retículos, que son abstractas, tienen una utilidad potencial mucho mayor para la metafísica y para la filosofía en general que la teoría de los números y la teoría del cálculo infinitesimal, las cuales están totalmente interpretadas (en términos matemáticos) y, en consecuencia, no son abstractas. En todo caso, la metafísica puede y debe hacer uso de la matemática si quiere ser exacta y contigua a la ciencia. ¿Algo más? Veamos.

Muchos filósofos, desde Parménides hasta Leibniz, Hegel, Gonseth y Scholz, han creído que la lógica es una especie de física universal, vale decir, la teoría más general del ser y el devenir. Los leibnizianos lo expresan de este modo: *(a)* el mundo real no es más que uno entre múltiples universos igualmente posibles, *(b)* la lógica es verdadera en todos los universos posibles y, en consecuencia, también en el nuestro. (Véanse Lewis, 1923; Scholz, 1941; Hasenjäger, 1966). La base de esta opinión es que una tautología de la lógica clásica, tal como $\ulcorner(x)\ (Px \vee \ \ Px)\urcorner$, es verdadera respecto de todo, es decir, no pone restricciones a la variable individual o variable de predicado. Esto es realmente así: la lógica se refiere a todo y es válida para todo, en todo sentido. Parecería que la lógica fuera una especie de ontología mínima, una *physique de l'objet quelconque*# (Gonseth, 1938).

Sin embargo, aunque la lógica es, por cierto, indiferente al tipo de referente, no describe ni representa –ni, mucho menos, explica ni predice– ningún ítem fáctico. El enunciado «Todo organismo está o vivo o muerto» se refiere a los organismos, pero no dice nada definido acerca de ellos. En consecuencia, no se trata de un enunciado biológico; ni siquiera de uno ontológico. Antes bien, la proposición dice algo acerca de la particular combinación de «o» y «o» que en ella aparece. La lógica es el conjunto de teorías que describen las propiedades de los conceptos lógicos: los conectores, los cuantificadores y la relación de implicación. Tanto es así que ninguno de estos conceptos tiene un correlato real o, por lo menos, un único correlato real. En efecto, no hay cosas, propiedades, estados ni sucesos que sean negativos o que sean alternativos. La generalización –sea existencial o sea universal– es una operación estrictamente conceptual. Y la relación de implicación tampoco tiene correlato óntico, aunque en ocasiones se la pueda asimilar a la relación causal. Más aún, si se admite que las tautologías son analíticas y, por tanto, a priori, no pueden ser a la vez verdades sintéticas a priori. En resumen, la lógica no es ontológica.

La relación de la lógica con la ontología es la de presuposición o prioridad lógica: toda metafísica coherente presupone la lógica. (Tal vez ésta sea la razón por la que Heidegger [1953] hizo a un lado la lógica con desprecio y odio). En nuestra obra, daremos por sentada la lógica clásica de segundo orden. La *lógica clásica*, porque es la que se usa en matemática y, en consecuencia, en la ciencia teórica, ninguna de las cuales ha encontrado utilidad alguna a las lógicas no clásicas. Y *de segundo orden*, porque nos proponemos analizar enunciados ontológicos tales como «Todo tiene alguna propiedad» y «Toda propiedad de una cosa está relacionada con otras propiedades de la misma».

La relación entre la ontología y la matemática es parecida: si es exacta, la ontología presupone la matemática, pero esta última no posee ningún compromiso ontológico. Ciertamente, es posible asignar interpretaciones ontológicas a las estructuras matemáticas. Por ejemplo, la teoría de grupos se puede interpretar como una descripción de todas las transformaciones reversibles posibles. Pero estas interpretaciones, al

Que puede traducirse como «una física del objeto no especificado». [N. del T.]

igual que las inherentes a la física teórica, exceden la matemática pura, que es independiente. Si alguien desea utilizarla, pues bienvenido sea: la matemática (incluida la lógica) es una disciplina de servicios. El hecho de que un área de investigación determinada no encuentre utilidad a la matemática, sólo sugiere que se encuentra en un estado de retraso, que dispone de pocas nociones claras y escasas proposiciones generales. La posibilidad de matematizar un campo de conocimiento no depende del ámbito de investigación, sino del estado de desarrollo de éste, puesto que lo que se matematiza no son los hechos, sino nuestras ideas acerca de ellos. Mientras éstas sean confusas, resultarán impermeables a la matematización, como ocurrió con el sobrestimado concepto de *impetus* (Koyré, 1957), más tarde con el de energía y, en la actualidad, con el de «correlato neural» o suceso mental. Hasta aquí llegamos con las relaciones entre la ontología y la matemática.

La relación entre la semántica y la metafísica es otro asunto. Tarski (1944, p. 363) sostenía que la ontología «no tiene ninguna relación con la semántica». Sin embargo, la teoría de la verdad como correspondencia presupone que existe un mundo real y éste es un supuesto metafísico. Además, las aplicaciones de toda teoría de la referencia requieren de supuestos definidos acerca del moblaje [o composición] del mundo. Considérese, por ejemplo, «El avión se ha retrasado una hora». ¿Se refiere al avión, tanto al avión como al aeropuerto, sólo al suceso de la llegada del primero al segundo; o se refiere a ambas cosas, así como a la duración del retraso? La respuesta a esta pregunta depende de la cosmología que se sostenga, del moblaje del mundo que se dé por supuesto. Si se considera que las cosas son los únicos constituyentes de la realidad, la respuesta es que el enunciado se refiere al avión y al aeropuerto; si se sostiene que la realidad consta de sucesos, el referente será la llegada del avión, y si se supone que el tiempo tiene una existencia absoluta, éste también se contará entre los referentes. En suma, la semántica –o, al menos, sus aplicaciones– sí tiene presuposiciones metafísicas. (Más sobre esto en Bunge, 1974c y en la Sección 4.3 del Capítulo 10, Volumen 2, de este *Tratado*). En cambio, las teorías ontológicas no parecen tener ninguna presuposición semántica, aunque sí utilizan conceptos semánticos, tales como los de designación, referencia y representación.

En resumidas cuentas, la lógica deductiva y la matemática pura, especialmente las teorías matemáticas abstractas, son neutrales desde el punto de vista ontológico. Por ello, precisamente, se las puede utilizar en la construcción de teorías ontológicas. No existe ninguna limitación a priori de la diversidad de teorías matemáticas que se puede usar en la investigación metafísica. La elección dependerá, en gran medida, de los conocimientos y las preferencias del metafísico. Algunos (por ejemplo, Scholz, 1941) intentarán arreglárselas con la lógica formal y la teoría de modelos únicamente. Otros desearían extraer toda una cosmología de la lógica modal [véase, por ejemplo, Munitz (ed.), 1971 y 1973]. En cambio, Suppes (1974) procura «reemplazar el concepto de empirismo lógico por el de empirismo probabilístico», desarrollando una metafísica probabilística. Por último, otros filósofos adoptarán lo que puede llamarse un *oportunismo matemático* o estrategia de utilizar toda teoría matemática que parezca prometedora. Esta obra ilustra la última estrategia.

Suficiente respecto de la relación entre la metafísica y la ciencia formal. (Más sobre ello en Bunge, 1974c). A continuación, dirijamos nuestra atención al otro componente de la ciencia.

7. La ontología de la ciencia

A menudo se resalta el contraste entre la metafísica y la ciencia, porque se supone que la primera es especulativa –en lugar de empírica– y que, por tanto, es irrefutable. En muchos casos es así. Sin embargo, nada hay de necesario en ello: la ontología puede estar a tono con la ciencia y ser tan científica como la física, aun cuando nunca habrá laboratorios metafísicos. Además, sostenemos que *(a)* la investigación científica está guiada por principios metafísicos, algunos buenos, otros malos; *(b)* tanto la ciencia básica como la tecnología han producido teorías que son científicas a la vez que metafísicas y *(c)* es posible desarrollar sistemas de ontología científica. Si estamos en lo correcto, no tiene por qué haber hostilidad entre la ciencia y la metafísica (científica). Ni siquiera hay una laguna, mucho menos un océano, entre ellas: *la ontología es la ciencia general* y *las ciencias fácticas son metafísicas especiales*. En otras palabras, tanto la ciencia como la ontología indagan la naturaleza de las cosas, pero mientras que la ciencia lo hace en detalle y, por tanto, produce teorías que se prestan a la comprobación empírica, la metafísica es extremadamente general y sólo se la puede controlar por medio de su congruencia con la ciencia.

Que la investigación científica avanza sobre ciertas hipótesis metafísicas es algo que algunos autores han señalado en ocasiones, por ejemplo Woodger (1929, p. 228), Collingwood (1940), Russell (1948, p. 506 y ss.), Margenau (1941, 1950), Bunge (1961, 1967a, Volumen I, p. 291 y ss.), Harré (1961, 1972), Agassi (1964, 1975), Lakatos (1969), Harvey (1969), Körner (1970) y Rosenblueth (1970, Capítulos 7 y 10). Aquí bastará la siguiente lista de principios ontológicos que se presentan en la investigación científica (Bunge, 1974d):

M1 Existe un mundo externo al sujeto cognoscitivo. Si no lo hubiera, no se lo podría someter a la investigación científica. En lugar de ello recurriríamos a la introspección o a la matemática pura antes que a la tentativa de descubrir lo desconocido que hay más allá del sujeto.

M2 El mundo está compuesto por cosas. En consecuencia, las ciencias de la realidad (natural o social) estudian las cosas, sus propiedades y sus cambios. Si existieran otros objetos reales, aparte de las cosas, sería imposible actuar sobre ellos por intermedio de aquellas.

M3 Las formas son propiedades de las cosas. Las formas platónicas en sí, flotando sobre las cosas concretas, no existen. Por ello *(a)* estudiamos y modificamos las propiedades mediante el examen de las cosas, así como obligándolas a cambiar, y *(b)* representamos las propiedades por medio de predicados (por ejemplo, de funciones) definidas para dominios que son, por lo menos en parte, conjuntos de objetos concretos. (Piénsese en la fertilidad, definida para el conjunto de organismos).

M4 Las cosas se agrupan en sistemas o agregados de componentes que interaccionan. No existe ninguna cosa que no sea parte de al menos un sistema. No hay cosas independientes: las fronteras que trazamos entre las entidades son, a menudo, imaginarias. Lo que realmente hay es sistemas: físicos, químicos, vivientes o sociales.

M5 Todo sistema, con excepción del universo, interacciona con otros sistemas en ciertos aspectos y está aislado de los demás sistemas en otros aspectos. Una cosa completamente aislada resultaría incognoscible. Y si no fuese por el aislamiento relativo, nos veríamos obligados a conocer el todo antes que cualquiera de sus partes.

M6 Todo cambia. Hasta los llamados componentes últimos de la materia acaban cambiando en el curso de sus interacciones con las otras cosas. Incluso las partículas supuestamente estables pueden ser absorbidas por otros sistemas o pueden fusionarse con sus respectivas antipartículas para formar fotones que, a su vez, pueden ser absorbidos.

M7 Nada surge de la nada y ninguna cosa queda reducida a la nada. Si no fuera así, no nos esforzaríamos por descubrir ni el origen de las cosas nuevas ni los rastros que dejan las cosas que han sido destruidas.

M8 Todas las cosas se rigen por leyes. Ya sean naturales o sociales, las leyes son relaciones invariantes entre las propiedades y son tan objetivas como las propiedades. Además, una ley es una propiedad. Si no hubiera leyes, jamás descubriríamos ninguna, ni las utilizaríamos para explicar, prever y hacer. En particular, el método experimental no sería factible, ya que su esencia es la manipulación deliberada y controlada de un componente o variable de un sistema con el fin de averiguar los efectos que esos cambios puedan tener sobre otras características del mismo. Nuestro incesante esfuerzo para conocer hechos de este tipo presupone que hay relaciones legales entre los elementos involucrados.

M9 Existen varios tipos de leyes (pluralismo nomológico). Hay leyes causales (o predominantemente causales) y estocásticas, así como leyes que presentan estos dos e incluso otros modos de devenir. Hay leyes intranivel (por ejemplo, biológicas) e internivel (por ejemplo, psicosociales).

M10 Hay diversos niveles de organización: físico, químico, biológico, social, tecnológico, etc. Los llamados niveles superiores emergen de los demás niveles durante ciertos procesos, pero una vez que se han formado –y poseen sus propias leyes– tienen cierta estabilidad. De otro modo, no sabríamos nada acerca de los organismos ni de las sociedades antes de haber agotado la física y la química, las cuales, de todas formas, son inagotables.

Hay, por cierto, otros principios ontológicos que se utilizan de manera más o menos expresa en la selección de los problemas, la formación de conceptos e hipótesis, el diseño de las técnicas y la evaluación de los resultados de la investigación científica. Sin embargo, los que hemos listado bastan para establecer la tesis de que toda la ciencia presupone alguna metafísica. De seguro, la mayoría de los científicos no son conscientes de este hecho o les llaman principios «científicos» (por ejemplo, Rosenblueth, 1970). Pero el hecho está ahí y cada tanto nos encontramos con grandes científicos que sí se percatan de que sostienen ciertas hipótesis metafísicas, vale decir, que poseen una cosmovisión determinada y consciente que guía su investigación. Galileo Galilei, Descartes, Leibniz, Newton, Euler, d'Alembert, Priestley, Faraday, Darwin, Maxwell, Einstein, Born, Heisenberg, Schrödinger, J. B. S. Haldane, Bernal y

Dobzhansky –por citar solamente unos cuantos– estuvieron entre los grandes científicos que eran conscientes de algunos de sus principios ontológicos. Y si la investigación científica es orientada –o desorientada– por algunos axiomas ontológicos, le corresponde al historiador de la ciencia sacarlos a la luz y al filósofo de la ciencia formularlos de manera clara a fin de justificarlos o criticarlos y, finalmente, sistematizarlos. De hecho, ésta es la tarea de la metafísica de la ciencia (Bunge, 1974d, 1974f). Parte de ella motivará y parte de ella se incorporará a nuestro sistema de metafísica científica.

Sin duda, no todas las hipótesis metafísicas propuestas o adoptadas por los científicos son razonables o fértiles: algunas son poco razonables u obstructoras. Por poner unos pocos ejemplos: *(a)* la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica afirma que, si bien los objetos macrofísicos son objetivamente reales, sus componentes atómicos sólo adquieren existencia como resultado de la observación; *(b)* la interpretación de los universos múltiples de la mecánica cuántica sostiene que el mundo en que vivimos se ramifica, a cada instante, en innumerables universos paralelos, mutuamente inconexos y, en consecuencia, incognoscibles; *(c)* algunos científicos niegan que el azar sea un modo objetivo de ser y, por consiguiente, se adhieren a una interpretación subjetivista o personalista de la probabilidad: son obstinados deterministas clásicos; *(d)* según una difundida interpretación de la teoría evolutiva, la selección natural conduce al gradual perfeccionamiento que, a su vez, es el que le otorga «significado» a la vida; *(e)* el conductismo se basa en el principio aristotélico de que nada puede cambiar de manera espontánea, que los organismos son autómatas deterministas y cada una de sus respuestas es causada por un estímulo ambiental; *(f)* numerosos neurofisiólogos y neurocirujanos eminentes creen que la mente es algo aparte del cuerpo que la produce; *(g)* mientras que algunos científicos sociales sostienen que no hay propiedades ni leyes sociales por encima de las que caracterizan a los individuos, otros rehúsan reconocer que los emergentes sociales están arraigados en los individuos y en sus interacciones. En resumen, la ciencia está repleta de metafísica: buena o mala, fértil o estéril.

Prestemos atención, ahora, a algunas áreas de la investigación científica en las cuales la metafísica se deja ver con particular intensidad.

8. Insumos y productos ontológicos de la ciencia y la tecnología

A continuación, defenderemos la tesis de que es posible encontrar la ontología no sólo entre las muletas heurísticas que guían la investigación científica, sino también *(a)* en algunos de los propios *problemas* abordados por la investigación científica, *(b)* en la *reconstrucción axiomática* de las teorías científicas y *(c)* entre las *teorías extremadamente generales*, tanto de la ciencia básica como de la ciencia aplicada.

Los siguientes ejemplos muestran que algunos de los problemas científicos más interesantes son a la vez metafísicos:

(i) ¿Hay una materia última (*ápeiron* o *Urmaterie*)? Esta pregunta dio origen a la teoría de Heisenberg, de 1956, sobre las partículas elementales.

(ii) ¿La vida se caracteriza por un principio inmaterial (espíritu, entelequia, *élan vital* o cualquier otro sustituto de nuestra ignorancia) o ha emergido durante un proceso evolutivo estrictamente natural? Esta pregunta ha suscitado los actuales estudios experimentales sobre el origen de los organismos.

(iii) ¿Las especies biológicas son materializaciones de los arquetipos platónicos, poblaciones concretas o algo diferente? Esta pregunta se la hacen cada día los taxónomos reflexivos.

(iv) ¿Lo mental es algo aparte, que excede lo neural? ¿Lo mental y lo neural están correlacionados, interaccionan, o lo mental es una función del sistema nervioso? Esta última alternativa constituye ni más ni menos que el motor de la psicología fisiológica.

(v) ¿La sociedad no es nada más que los individuos que la componen o existen leyes sociales, además de las leyes propias de la conducta individual? Se trata de una de las controversias centrales de la metodología y filosofía actuales de las ciencias sociales.

Las preguntas anteriores han mostrado ser fructíferas: han estimulado líneas de investigación íntegras. Junto a ellas, hay otras preguntas que son resultado de una metafísica dudosa, que se encuentra con frecuencia en la ciencia y que constituye una fuente de confusión, así como un sumidero de esfuerzos. He aquí una muestra de tales preguntas:

(vi) ¿Por qué los mesones μ son diferentes de los electrones? (¿Por qué no habrían de serlo?)

(vii) ¿Por qué no hay partículas superlumínicas? (¿Por qué tendría que haberlas?)

(viii) ¿Es posible observar una inversión temporal? (La inversión del signo *t* de una ecuación de movimiento no tiene ningún correlato «operativo»).

(ix) ¿Por qué el estudio del comportamiento tiene que estar unido a una investigación de la cosa que se comporta, es decir, del organismo? (Porque no hay cambios aparte de la cosa que cambia).

(x) ¿Cuál es el oficial de contacto entre el cerebro y la mente? (¿Por qué presuponer que el cuerpo y la mente son entidades separadas?)

En resumen, la ontología inspira u obstaculiza los problemas y proyectos de investigación más interesantes. (Admitido esto, se debería estudiar el efecto de los principios ontológicos en el diseño de políticas científicas).

Otra área en la cual la ontología y la ciencia se superponen es la relativa al fundamento axiomático de las teorías científicas. Si se axiomatiza una teoría científica, es probable que en ella se presente de manera explícita alguno de los siguientes conceptos: parte, yuxtaposición, propiedad, posibilidad, composición, función de estado, estado, suceso, proceso, espacio, tiempo, vida, mente y sociedad. Sin embargo, los axiomas específicos de la teoría no nos dirán nada acerca de estos conceptos genéricos fundamentales: la ciencia los toma prestados y los deja en un estado intuitivo o presistemático. Únicamente la ontología se interesa por analizar y sistematizar esos conceptos que utilizan numerosas ciencias y, en consecuencia, ninguna de ellas reclama como propios. Por ejemplo, la física no pregunta «¿qué es el tiempo?», ni la biología «¿qué es la vida?»; la psicología no pregunta «¿qué es lo mental?» ni la sociología «¿qué es la sociabilidad?». Es tarea de la ontología –y de la filosofía de los fundamentos de la ciencia– intentar ofrecer respuestas a esas preguntas y, por lo general, aclarar todo aquello que la ciencia da por sentado o deja a media luz. O sea, el metafísico debe llenar algunas de las lagunas de la ciencia.

La existencia de estas lagunas del conocimiento científico no se debe a que ciertos hechos son impermeables al método científico y requieren de la intuición esotérica, sino a que hay determinadas ideas que los científicos utilizan sin molestarse en examinarlas, tal vez porque parecen obvias. Podemos llamar *trasfondo ontológico* de *T* a las teorías ontológicas que aclaran y articulan las ideas generales que subyacen a la teoría científica *T*. Este trasfondo se convierte en una parte esencial de la teoría científica axiomatizada (Bunge, 1967b, 1973b). Es decir, las hipótesis metafísicas contenidas en el trasfondo se combinan con las hipótesis científicas propiamente dichas. Adviértase que ahora estas ideas metafísicas son constitutivas y no sólo reguladoras o heurísticas como las listadas en la Sección 7. En tanto que estas últimas pueden venirse a tierra con el andamiaje, las primeras permanecen en la teoría.

De forma abreviada, la reconstrucción axiomática de toda teoría científica fundamental sacará a la luz, exactificará y sistematizará ciertos conceptos ontológicos. De este modo, la línea entre la ontología y la ciencia desaparece.

La tercera región en la que la ciencia se fusiona con la ontología está constituida por teorías extremadamente generales, tales como la dinámica lagrangiana, la teoría clásica de campos (de todo tipo) y la teoría cuántica de campos (mal llamada 'teoría axiomática de campos'). Todas estas teorías son genéricas en el sentido de que, lejos de representar unas pocas especies de cosas, describen los rasgos básicos de géneros de cosas. Por ejemplo, la dinámica lagrangiana, que se inició como una reformulación de la mecánica clásica de partículas, se generalizó, finalmente, para abarcar sistemas mecánicos, eléctricos y hasta biológicos y sociales. Mientras la función lagrangiana no esté especificada y sus variables independientes no estén interpretadas, la teoría continúa siendo lo bastante general como para ser indistinguible de la metafísica. De hecho, es posible que la teoría lagrangiana haya sido el primer miembro de la metafísica científica.

En resumidas cuentas, la propia ciencia ha producido teorías metafísicas por medio del proceso de generalización. Una vez más, aquí no hay ninguna frontera que trazar.

La cuarta y última área en la que la ontología se mezcla con la ciencia es la tecnología contemporánea. En realidad, algunas de las teorías incluidas en las llamadas ciencias de la información, así como en la teoría de sistemas, son tan generales y, a la vez, tan precisas, que cumplen los requisitos de las teorías de la metafísica científica. Por ejemplo, una teoría general del control (o cibernética) será aplicable no sólo a las máquinas con bucles de realimentación, sino también a los sistemas que persiguen objetivos (los miembros de las especies animales superiores). Por ser tan general, una teoría de este tipo no representará ningún detalle del sistema de interés: por ejemplo, será insensible a la naturaleza de los materiales y mecanismos involucrados. En consecuencia, no reemplazará a ninguna de las teorías especiales desarrolladas por los científicos y los tecnólogos. Sin embargo, estas teorías generales proporcionan cierta comprensión y vinculan áreas de investigación que previamente estaban aisladas. (Cf. Bunge, 1977a).

En síntesis, la tecnología de posguerra ha producido una variedad de teorías ontológicas. En realidad, ha sido más fértil que la metafísica académica.

La conclusión de nuestra discusión hasta el momento es la que sigue: la ciencia –sea básica, sea aplicada– está impregnada de ideas ontológicas, ora heurísticas, ora constitutivas, tanto así que algunas teorías científicas son a la vez teorías metafísicas. Más precisamente: toda teoría científica, si es extremadamente general, *es* ontológica; y toda teoría ontológica, si es exacta y concuerda con la ciencia, *es* científica. Por consiguiente, la expresión *metafísica científica*, si bien algo chocante al principio, designa un área existente que prácticamente no puede distinguirse de la ciencia.

Es cierto que las teorías ontológicas, sea cual fuere su grado de cientificidad, no pueden ponerse a prueba empíricamente. En realidad, tampoco las teorías científicas extremadamente generales pueden combrobarse empíricamente. (Por ejemplo, las ecuaciones básicas de la mecánica de medios continuos ni siquiera pueden resolverse, mucho menos ponerse a prueba, a menos que se les haya añadido supuestos especiales acerca de las fuerzas, la distribución de masa y las tensiones internas). Al igual que las teorías genéricas de la ciencia, las de la tecnología sólo son *comprobables de manera indirecta*, vale decir, por intermedio del control de las teorías especiales que se obtienen conjugando las teorías generales con ciertos supuestos subsidiarios (Bunge, 1973a, Capítulo 2). En pocas palabras, en lo que concierne a su comprobabilidad y su referencia, no hay diferencias entre una teoría ontológica y una teoría científica extremadamente general.

Puesto que no hay una frontera nítida entre la ciencia y la ontología, la tentativa de hallar un criterio para la estricta demarcación de estos dos campos resulta absurda. El problema de la demarcación, que ha ocupado a tantos cerebros eminentes desde Kant en adelante (véase, por ejemplo, Popper, 1963), ha desaparecido. Ha sido reemplazado por una tarea diferente, mucho más gratificante: sacar a la luz la metafísica de la ciencia y la tecnología, y desarrollar una ontología científica.

9. Usos de la ontología

La metafísica es una rama tradicional de la filosofía y, como tal, no necesita justificación a los ojos del filósofo, a condición de que éste sea prekantiano o pospositivista. (Se ha señalado muchas veces –y con razón– que un antimetafísico es alguien que sostiene creencias metafísicas primitivas sin examinar). Es posible que a un filósofo no le agrade la palabra y prefiera algún sustituto de ella, tal como 'ontología', 'cosmología filosófica', 'ciencia general' o 'perspectiva filosófica'. Pero dado que reconoce la existencia de ciertos problemas a los que tradicionalmente se ha llamado 'metafísicos', a menos que se trate de un irracionalista, no negará que tales problemas merecen una respuesta y, más aún, que la mejor respuesta a un problema teórico la ofrece una teoría.

Si la metafísica es parte de la filosofía, tiene que estar relacionada con otras ramas de este campo, de otro modo, no sería una parte de él. Se la puede distinguir, por cierto, de las demás ramas de la filosofía –principalmente, de la lógica, la semántica, la gnoseología, la teoría de los valores y la ética– pero de ningún modo se la puede separar de ellas. En consecuencia, desde el punto de vista de la ontología, que se adopte una gnoseología realista o una fenomenista tiene consecuencias diferentes: con la primera se intentará desvelar la estructura de la realidad, con la segunda sólo la estructura de las apariencias. A su vez, la gnoseología que se profese dependerá, en gran medida, de la ontología que se sostenga: si es naturalista, se considerará que la gnoseología es la ontología del conocer, pero si se adopta una ontología espiritualista, se abre la puerta hacia una gnoseología subjetivista. Para generalizar: la ontología está estrechamente relacionada con el resto de la filosofía.

Sin embargo, las intensas interacciones entre la ontología y sus disciplinas hermanas no deben impedirnos ver las diferencias que hay entre ellas. En particular, no debemos confundir las categorías del conocer (por ejemplo, la verdad) con las del ser (por ejemplo, la propiedad). Y, con todo, en ocasiones esta distinción se pasa por alto. Por ejemplo, Strawson (1959) ha afirmado que los cuerpos materiales son básicos entre los particulares, no porque sean los constituyentes últimos de todo, sino porque, supuestamente, todo particular es identificado o reidentificado en términos de cuerpos materiales. Sin duda, los cuerpos materiales son una condición de nuestro conocimiento del mundo externo. Sin embargo, también lo son nuestros sentidos y nuestro intelecto, los cuales no son particulares básicos. En resumen, aunque defendamos la unidad de la filosofía, es decir, las interrelaciones entre sus ramas, no debemos olvidar sus diferencias.

En todo caso, entre los filósofos contemporáneos la ontología no necesita que la defiendan. Entre ellos, hasta se ha puesto de moda hablar de ontología. En cambio, para los científicos no resultará convincente la afirmación de que la metafísica es valiosa porque da la casualidad de que es una parte esencial de la filosofía. (Después de todo, los propios filósofos les dijeron, hace más de un siglo, que la metafísica era un montón de tonterías). Pero los científicos podrían aprender a tolerar la ontología si se les mostrara que, si bien a primera vista puede parecer inútil (y hasta absurda), puede serles de alguna utilidad, a saber, de los siguientes modos:

(i) *La metafísica puede ayudar a disolver seudopreguntas* que surgen en la ciencia y cuyo origen son ciertos errores de concepto. Ejemplo: «¿Cuál es la raíz de la flecha del tiempo: la irreversibilidad, la ignorancia de los detalles microscópicos, el experimento, la expansión del universo u otra cosa?» Esta pregunta se disuelve al advertir que el tiempo no tiene una flecha objetiva, que sólo los procesos pueden tener una «flecha», es decir, ser irreversibles. Pero el percatarse de ello exige una teoría del tiempo totalmente desarrollada y ésta es una tarea típica de la ontología.

(ii) *La metafísica puede desvelar*, *aclarar y sistematizar* algunos conceptos y principios básicos que se presentan durante la investigación científica y hasta en las teorías científicas: constructos que son comunes a diversas ciencias, de suerte que ninguna ciencia individual se toma el trabajo de sistematizarlos, como ocurre en los casos de "propiedad" y "espacio". Algunos de estos constructos están incluidos en el trasfondo ontológico de las teorías científicas: recuérdese la Sección 8.

(iii) *La metafísica puede sugerir a la ciencia nuevos problemas*, *proyectos de investigación y hasta teorías*. Ejemplo: la metafísica mecanicista nacida a comienzos del siglo XVII inspiró la investigación científica durante más de dos siglos. Otro: el premio Nobel Hideki Yukawa (1973) culpa del actual culto irreflexivo al cálculo y la medición, así como de la falta de una comprensión profunda de la física de alta energía, a la carencia de una metafísica inspiradora.

(vi) *La metafísica puede ser útil analizando nociones que están de moda pero son oscuras*, tales como las de sistema, jerarquía, estructura, suceso, información y mundo posible, así como haciendo crítica de difundidos errores conceptuales, tales como los de que el mundo es una colección de hechos y que la mente controla el cuerpo.

(v) *La metafísica puede realizar otro servicio a la comunidad examinando el núcleo ontológico de las ideologías de la actualidad* y descubriendo si cumplen los requisitos del trabajo intelectual contemporáneo.

En resumidas cuentas, la ontología no es en absoluto inútil: a veces alienta el buen trabajo y otras veces constituye un obstáculo para la investigación, pero siempre está allí, en el centro mismo de nuestras conjeturas sobre el mundo.

10. Comentarios finales

A modo de resumen:

(i) La ontología puede ser exacta o inexacta, según utilice o no herramientas formales.

(ii) La ontología exacta (o matemática) puede ser sustanciosa o insustancial, según aborde o evite los grandes problemas acerca de la naturaleza de la realidad.

(iii) La metafísica exacta y sustanciosa puede ser científica o no serlo, según sea contigua o ajena a la ciencia.

(iv) La ontología científica es una colección de teorías y marcos conceptuales generales o transdisciplinarios que poseen referencia fáctica y forma matemática, además de ser compatibles con la ciencia del momento y pertinentes para ella.

(v) No hay diferencia entre la buena metafísica y la ciencia profunda: toda teoría científica de gran alcance puede considerarse una teoría metafísica y toda teoría ontológica que reúna y generalice resultados científicos, o que aparezca en el trasfondo de una teoría científica axiomatizada, se puede considerar científica.

(vi) La ciencia, tanto básica como aplicada, trata con conceptos e hipótesis metafísicos: presupone ciertos principios ontológicos –de tipo heurístico, así como de tipo constitutivo– y es una poderosa fuente de conjeturas metafísicas. De hecho, algunas teorías son a la vez metafísicas y científicas. Puesto que no hay una frontera nítida entre ambos campos, el problema de la demarcación desaparece.

Ya tenemos bastante de discurso meta-metafísico. Ahora construyamos una nueva ontología.

Capítulo 1

La sustancia

Una de las *regulae philosophandi*# de Descartes recomienda empezar por simplificar, y una de nuestras propias máximas (Introducción, Sección 4) nos exhorta a hipotetizar inobservables a fin de dar razón de las apariencias. La puesta en práctica conjunta y radical de estas dos reglas consiste en despojar a las cosas de todas sus propiedades; sólo para empezar, claro. Lo que queda es el particular cualitativamente indeterminado, el *individuo indiferenciado*. Nuestro individuo indiferenciado resultará similar, pero no idéntico, a la materia sin forma de Platón y a la sustancia primera de Aristóteles. Similar, porque ninguno de ellos posee propiedades inherentes (salvo, tal vez, la composición, en nuestro caso), diferentes porque nuestros individuos indiferenciados están dotados de la capacidad de asociarse, es decir, de formar entidades compuestas. Mientras que cada individuo indiferenciado no está descrito, un agregado de ellos posee la propiedad definida de estar compuesto, es decir, de tener partes. La asociación de individuos indiferenciados es, pues, el comienzo de la complejidad y, en consecuencia, un paso hacia el realismo.

Sin duda, toda cosa real consta de una materia definida, dotada de propiedades definidas: los individuos indiferenciados no existen, salvo en nuestra imaginación. Éste es un supuesto tácito de la ciencia fáctica. En otras palabras, la ciencia ha archivado el concepto platónico de materia sin forma, así como la noción aristotélica de sustrato inmutable. Con

Reglas del filosofar. [N. del T.]

todo, si bien ya no creemos en la existencia real de cosas indiferenciadas, nos parece conveniente desde el punto de vista metodológico fingir que sí las hay, sólo para dotarlas de propiedades a continuación, a saber, en el Capítulo 2. A un individuo totalmente dotado de sus cualidades, si es sustancial o concreto, le llamaremos *cosa* en el Capítulo 3. Y a una cosa compleja con sus componentes acoplados le llamaremos *sistema* en el Capítulo 5. Éste es el modo en que abordaremos el problema básico de la metafísica tradicional, vale decir, el de la sustancia y el atributo. Ocupémonos, primero, del concepto de sustancia.

1. Asociación

1.1. La concatenación y su interpretación ontológica

Los individuos pueden asociarse para formar otros individuos. Cuando no se especifica ni la clase de individuo ni el modo de asociación, tenemos la asociación (indiferenciada) de individuos (indiferenciados). Se puede formalizar esta noción de asociación utilizando el concepto algebraico de concatenación, el cual está dilucidado en la teoría de semigrupos. (Cf. Ljapin, 1963).

Un semigrupo es un conjunto S junto con una operación de concatenación $\circ$ que es binaria, interna y asociativa. Decimos que la operación es interna porque está definida en S, es decir, porque S es cerrado respecto de $\circ$. (O sea, la concatenación no da lugar a individuos ajenos a S). Además, la concatenación es asociativa, porque satisface la ley de asociatividad: si $x, y, z \in S$, luego $x \circ (y \circ z) = (x \circ y) \circ z$. De manera más sucinta: la estructura $\langle S, \circ\rangle$, en la cual S es un conjunto arbitrario no vacío y $\circ$ una operación binaria en S, se llama *semigrupo* si y sólo si (i) S es cerrado respecto de $\circ$ y (ii) $\circ$ es asociativa en S. El semigrupo $\langle S, \circ\rangle$ es finito si S posee un número finito de elementos, de lo contrario es infinito. Un ejemplo simple de un semigrupo finito es el que sigue: $S = \{0, 1, 2\}$ con la tabla de multiplicación (concatenación)

$\circ$	0	1	2
0	0	1	2
1	1	1	2
2	2	2	2

Y un ejemplo simple de semigrupo infinito es el conjunto $\mathbb{N}$ de enteros positivos respecto de la adición. En otras palabras, la estructura $\langle \mathbb{N}, + \rangle$ es un modelo de semigrupo. (Para el concepto semántico de modelo, véase, por ejemplo, la Sección 2, del Capítulo 6, del Volumen 2 de este *Tratado*).

Si interpretamos S como la totalidad de los individuos indiferenciados y $\circ$ como su asociación por pares, obtenemos la teoría más simple, básica y útil de la metafísica científica: le llamaremos *teoría de asociación*.

Podemos mejorarla ligeramente si añadimos el supuesto de que, cuando se lo escribe de manera aditiva, nuestro semigrupo contiene el elemento nulo, y si interpretamos este último como el *individuo nulo*. Grosso modo, el elemento neutro $\square$ de S es ese individuo (ficticio) que, cuando se asocia con un miembro arbitrario x de S, no modifica a x; vale decir, $x \circ \square = \square \circ x = x$. Desde el punto de vista formal, $\square$ es el elemento neutro por ambos lados de S. La nueva estructura, $\langle S, \circ, \square \rangle$, se llama semigrupo (aditivo) con elemento neutro o, de forma abreviada, *monoide*. Esta estructura es ligeramente más rica que el semigrupo correspondiente, dado que es más específica. Ahora bien, uno de los elementos de S, a saber $\square$, ha dejado de ser un individuo indiferenciado y ahora es distinto de todos los demás, no por una cualidad intrínseca individual, sino por su conducta vana cuando está en compañía de otros. Puesto que $\square$ es la no entidad o no ser, es incluso más ficticio que cualquiera de los elementos no designados de S. La introducción de $\square$ está justificada por el hecho de que nos permitirá sostener que nada se inicia del $\square$ o acaba en el $\square$, lo cual es ciertamente un principio ontológico importante. (Más sobre el $\square$ en la Sección 3.1.).

1.2. Fundamento axiomático de la teoría de asociación

Postulamos, entonces, que cuando se lo despoja de sus propiedades e interacciones –salvo por la propiedad de composición– el conjunto de cosas individuales posee la estructura de monoide. Suponemos, además, que el orden de asociación es indiferente, vale decir, que la concatenación $\circ$ es *conmutativa*: si $x, y \in S$, luego $x \circ y = y \circ x$. También suponemos que la asociación de un individuo consigo mismo no produce modificaciones en él, o sea, que los elementos de S son *idempotentes*: $x \circ x = x$. (En cambio, no postulamos que la operación de asociación posea la propiedad de cancelación, es decir, que para todo a, b, x de S, la igualdad $a \circ x = b \circ x$ implica que $a = b$). De los supuestos anteriores se sigue que el resultado de la asociación de dos individuos no es nula, siempre que al menos uno de ellos no sea nulo: para todo x, y de S, si $x \neq \square$ o $y \neq \square$, luego $x \circ y \neq \square$. (O sea, la asociación no tiene como resultado la aniquilación). Llamaremos a esta propiedad *conservación de la sustancia*.

En resumen, suponemos que el conjunto S de individuos indiferenciados es un monoide conmutativo de idempotentes. Supondremos, además, que esta estructura se mantiene en todas las cosas reales: esto es, postulamos que la totalidad de los particulares concretos o sustanciales –sea que los consideremos indiferenciados, sea que los concibamos dotados de todas sus cualidades– posee una estructura de monoide. Además, denotamos la concatenación de cosas con $\dotplus$ en lugar de con $\circ$. (Advertencia: S no es el mundo o la realidad, sino el conjunto de sus elementos. El mundo o universo es un individuo más, el individuo supremo, mientras que un conjunto es un concepto. Más sobre ello en la Sección 3.1). Los supuestos anteriores están resumidos en el

POSTULADO 1.1 Sea S un conjunto no vacío, $\square$ un elemento seleccionado de S y $\dotplus$ una operación binaria de S. Luego, la estructura $\mathcal{S} = \langle S, \dotplus, \square \rangle$ satisface las siguientes condiciones:

- (i) $\mathcal{S}$ es un monoide conmutativo de idempotentes,
- (ii) S es el conjunto de todos los individuos sustanciales o concretos,
- (iii) el elemento neutro $\square$ es el individuo nulo,
- (iv) $\dotplus$ representa la asociación de individuos,
- (v) la sarta $a_1 \dotplus a_2 \dotplus \ldots \dotplus a_n$, en la que $a_1 \in S$ para $1 \leqslant i \leqslant n$, representa al individuo compuesto de los individuos a_1 a a_n.

Comentario 1 Este axioma tiene contenido fáctico en la medida que se refiere, en última instancia, a cosas reales y no es tautológico en absoluto. *Comentario 2* A pesar de lo anterior, nuestro postulado no es refutable, puesto que si pareciese que una cosa no satisface nuestro axioma, no diríamos que se asocia. [Más sobre esta peculiaridad de las teorías ontológicas en Bunge (1973a)]. *Comentario 3* La condición de conmutatividad es el único enunciado legal involucrado en el postulado anterior. Se la puede reformular del siguiente modo: la asociación es una relación simétrica en el sentido de que «x se asocia a y» es equivalente a «y se asocia a x».

Comentario 4 Dado que el Postulado 1.1 afirma que las entidades pueden asociarse para formar entidades complejas, es incompatible con el universo de bloque de Parménides. *Comentario 5* Hemos interpretado la concatenación como asociación, ya sea natural o producida por el hombre. Una interpretación operacionista, más estrecha, consideraría $\dotplus$ como la ensambladura de cosas perceptibles realizada por alguien. *Comentario 6* Sería interesante investigar incluso las estructuras más pobres, es decir, las álgebras no asociativas tales como los grupoides (cf. Bruck, 1958). Pero no nos ocuparemos de ello ahora. Del mismo modo, no estudiaremos las aplicaciones ontológicas de los semigrupos no conmutativos.

Antes de presentar otros supuestos, necesitamos algunas definiciones. Primero la

DEFINICIÓN 1.1 Un individuo es *compuesto* sii está constituido por individuos diferentes de él y del individuo nulo. O sea, $x \in S$ es compuesto si existen individuos concretos $y, z \in S$, tal que $x = y \dotplus z$ y cada uno de ellos difiere de x, así como de $\square$. De lo contrario, el individuo es *simple*.

Comentario 1 Según la definición, la composición trivial $x \dotplus x = x$ no cuenta. *Comentario 2* Adviértase la diferencia entre la entidad compuesta $z = x \dotplus y$ y el conjunto $\{x, y\}$ de sus constituyentes o componentes. Este último es un concepto y no satisface el Postulado 1.1.

COROLARIO 1.1 El individuo nulo es simple.

Demostración $\square$ es simple porque, para todo individuo no nulo x, por el Postulado 1.1 (ii), $x \dotplus \square \neq \square$.

Comentario El individuo nulo no tiene por qué ser el único simple. Y a continuación, otro concepto clave:

DEFINICIÓN 1.2 Si x e y son individuos concretos, x es *parte* de y sii existe otro individuo, z, tal que $x \dotplus z = y$. En símbolos: $x \sqsubset y$.

Justificación La relación $\sqsubset$ es una relación de *orden parcial*, algo que la relación parte-todo se supone que es. En realidad, a partir de la definición anterior y las propiedades de $\dotplus$ (Postulado 1.1) se sigue que, para todo $x, y, z \in S$,

(i) $\sqsubset$ es *reflexiva*, es decir, $x \sqsubset x$;

(ii) $\sqsubset$ es *asimétrica*, vale decir, si $x \neq y$, entonces $x \sqsubset y \Rightarrow \quad (y \sqsubset x)$;

(iii) $\sqsubset$ es *transitiva*: $x \sqsubset y \;\&\; y \sqsubset z \Rightarrow x \sqsubset z$.

Comentario 1 No debe confundirse la relación parte-todo $\sqsubset$ con la relación de inclusión $\subseteq$ ni, mucho menos, con la relación de pertenencia $\in$ a un conjunto. En efecto, mientras que $\subseteq$ y $\in$ son relaciones entre conceptos de cierto tipo (conjuntos), $\sqsubset$ es una relación entre individuos sustanciales. Además, a diferencia de $\sqsubset$, $\in$ no es transitiva. (Por ejemplo, si $A = \{x\}$ y $B = \{A\}$, luego $x \in A$ y $A \in B$, pero $x \notin B$). *Comentario 2* Pudimos haber definido la inversa $\sqsupset$ de $\sqsubset$. Se trata, en realidad, del concepto de Whitehead de «extensión»: *x se extiende sobre y* si $x \circ y = x$ (Whitehead, 1919). Pero dado que aquí ninguna de estas relaciones se interpreta en términos espaciales, a estas alturas bien podríamos evitar las metáforas geométricas. En efecto, es posible tomar un individuo de nuestro planeta y otro de una lejana galaxia para asociarlos y formar un tercer individuo, de suerte que cada componente sea una parte del todo, al igual que dos componentes de un fluido miscible vertidos en un vaso. *Comentario 3* Con ayuda de las definiciones anteriores, podemos demostrar fácilmente que

Para todo $x \in S$: x es simple sii, para todo $y \in S$, $y \sqsubset x \Rightarrow y = x$ o $y = \square$.

Comentario 4 La condición «Para todo $x \in S$: $x \dotplus \square = \square \dotplus x = x$», que define al individuo nulo, ahora se puede leer como sigue: el individuo nulo es parte de todo individuo. A continuación, introducimos el complemento de este concepto:

POSTULADO 1.2 Existe un individuo tal que todo otro individuo es parte de él. O sea, $(\exists x)\ [x \in S\ \&\ (y)\ (y \in S \Rightarrow y \sqsubset x)]$.

DEFINICIÓN 1.3 Llamamos *mundo* [o *universo*] al individuo universal introducido por el Postulado 1.2, y lo denota el símbolo $\blacksquare$.

Comentario 1 Adviértase, nuevamente, que el mundo, es decir, $\blacksquare$, es un individuo que no debe ser confundido con el conjunto S de todos los individuos, el cual es un concepto, no un objeto físico. *Comentario 2* La propiedad algebraica distintiva de $\blacksquare$ es la siguiente: para todo $x \in S$, $x \dotplus \blacksquare = \blacksquare \dotplus x = \blacksquare$. Véase el Corolario 1.5.

DEFINICIÓN 1.4 Sea x que denota un objeto arbitrario diferente de $\square$ y de $\blacksquare$, el mundo. Luego,

(i) x es *mundano* si $x \sqsubset \blacksquare$;

(ii) x es *ajeno al mundo* si x no es mundano (vale decir, si x no satisface el Postulado 1.1 y, con mayor razón, si x no es parte de $\blacksquare$).

Ejemplo El mundo es mundano, pero la cosmología no lo es.

La relación parte-todo nos permite definir otro interesante concepto, que utilizaremos a lo largo de esta obra.

DEFINICIÓN 1.5 La *composición* de un individuo es igual al conjunto de sus partes. Vale decir: sea $\mathscr{C}: S \to 2^S$ una función que aplica individuos a conjuntos de individuos, tal que $\mathscr{C}(x) = \{y \in S \mid y \sqsubset x\}$ para todo $x \in S$; luego $\mathscr{C}(x)$ se llama *composición* de x.

La complejidad de un individuo se puede definir como la numerosidad de su composición, es decir

Para todo $x \in S$, la *complejidad* de $x =_{\mathrm{df}} |\mathscr{C}(x)|$

donde $|S|$ representa la numerosidad de S. Sin embargo, ésta es una medida tosca de la complejidad óntica (no conceptual), ya que sólo da razón del número de componentes o partes, pero no del modo en que están acoplados. Pese a ello, es todo lo que podemos hacer por el momento, dado que todavía no disponemos del concepto de acoplamiento.

En lo que respecta a la complejidad del mundo, debemos escoger entre las siguientes hipótesis:

H1 *Finitismo*: la complejidad de ▯ es finita.
H2 *Infinitismo* numerable: la complejidad de ▯ = álef cero.
H3 *Infinitismo*: la complejida de ▯ = la potencia del continuo.
Con todo, no es necesario que escojamos ahora.

A continuación, derivaremos algunas consecuencias de nuestros supuestos y definiciones.

1.3. Consecuencias

Antes de nada, el trivial, pero necesario

COROLARIO 1.2 La totalidad S de los individuos sustanciales está parcialmente ordenada por la relación parte-todo $\sqsubset$. O sea, $\langle S, \sqsubset \rangle$ es un conjunto parcialmente ordenado.

Demostración Inmediata, recordando la justificación de la Definición 1.2.

TEOREMA 1.1 La asociación de dos individuos cualesquiera es el supremo (la menor de las cotas superiores o m.c.s.) para ellos con respecto al ordenamiento parte-todo:

$$\text{Si } x, y \in S \quad \text{luego} \quad \mathit{sup}\,\{x, y\} = x \dotplus y.$$

Demostración Por asociatividad e idempotencia $x \dotplus (x \dotplus y) = (x \dotplus x) \dotplus y = x \dotplus y$. Por la Definición 1.2, la última fórmula es lo mismo que: $x \sqsubset (x \dotplus y)$. De manera semejante, $y \dotplus (x \dotplus y) = x \dotplus y$, de donde $y \sqsubset (x \dotplus y)$. En consecuencia, $x \dotplus y$ es una cota superior de x e y. Además, es la menor de sus cotas superiores. De hecho, llamaremos z a una cota superior de x e y, vale decir, $x, y \sqsubset z$. Luego, $x \dotplus y \dotplus z = z$. Por consiguiente, $x \dotplus y \sqsubset z$.

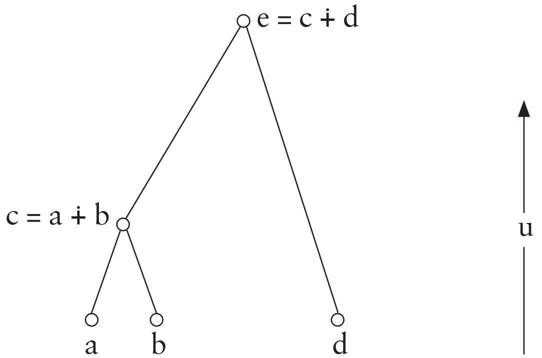


Figura 1.1. Todas las entidades se asocian y están ordenadas por la relación $\sqsubset$.

El concepto de supremo generaliza a conjuntos arbitrarios (en particular a los infinitos) el concepto de concatenación, el cual está definido únicamente para pares de individuos. Hemos postulado que, si x e y son individuos sustanciales, también lo es $x \dotplus y$ (Postulado 1.1). A continuación, generalizaremos esa hipótesis a un conjunto arbitrario de individuos: véase la Figura 1.1. Vale decir, suponemos el

POSTULADO 1.3 Todo conjunto $T \subseteq S$ de individuos sustanciales posee un supremo, el cual es denotado por $[T]$. O sea que para todo $T \subseteq S$, hay un individuo $[T] \in S$ tal que

(i) $x \sqsubset [T]$ para todo $x \in T$,

(ii) si $y \in S$ es una cota superior de T, entonces $[T]$ precede a y: es decir que si $x \sqsubset y$ para todo $x \in T$, luego $sup\ T = [T] \sqsubset y$.

Este axioma nos permite dilucidar una importante noción metafísica:

DEFINICIÓN 1.6 Sea $T \subseteq S$ un conjunto de individuos concretos. Luego, la agregación o asociación de T –o, de modo abreviado, $[T]$– es el supremo de T. O sea, $[T] = sup\ T$.

Comentario 1 Si T es un conjunto finito, su agregación $[T]$ es la asociación de todos los miembros de T. Vale decir, si $T = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, luego $[T] = sup\ T = x_1 \circ x_2 \circ \ldots \circ x_n$. En particular, la agregación de un conjunto unitario es su único elemento: si $T = \{x\}$, luego $[T] = x$. *Comentario 2* Dado que la asociación es una operación finitaria, no es posible definir la agregación de un conjunto arbitrario (posiblemente infinito) $T \subseteq S$ como la concatenación de todos sus miembros. Ésta es la razón de que hayamos utilizado el concepto más general de supremo (*sup*). A continuación, aplicaremos esto a la colección íntegra de individuos sustanciales.

TEOREMA 1.2 El universo [o mundo] es la agregación de todos los individuos:

$$▯ = [S] = sup\ S.$$

Demostración Por el Postulado 1.2, ▯ existe y es el individuo último, es decir, que para todo $x \in S$, $x \sqsubset$ ▯. Pero este individuo satisface las condiciones de la Definición 1.7, o sea ▯ $= sup\ S$.

La información anterior está resumida en el

TEOREMA 1.3 La cuaterna[#] ordenada $\langle S, \dotplus, \square,$ ▯$\rangle$ es un sup-semirretículo con mínimo $\square$ y elemento último ▯ respecto de la relación parte-todo $\sqsubset$.

Demostración Por el Teorema 1.1, existe un supremo por cada dos individuos: su asociación. Además, $\square$ es parte de todo individuo, de manera tal que se encuentra en la base de la red. Su complemento, ▯, contiene a todo individuo, de suerte que se sitúa en la cima de la red. Estas condiciones, junto con la conmutatividad de la asociación, definen un sup-semirretículo. Véase la Figura 1.2.

[#] Cuádrupla o cuádruple. [N. del T.]

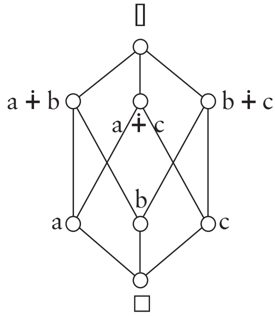


Figura 1.2 Semirretículo generado por $S = \{\square, a, b, c, ▯\}$.

TEOREMA 1.4 Todo individuo concreto es la agregación de sus partes, vale decir, de su composición. O sea que para todo $x \in S$,

$$x = [\mathscr{C}(x)] = sup\ \{y \in S | y \sqsubset x\}.$$

Demostración Aplicar la Definición 1.6 a $\mathscr{C}(x)$ según su caracterización en la Definición 1.5.

COROLARIO 1.3 Todo individuo con una composición finita es la asociación de sus predecesores con respecto a $\sqsubset$.

Ejemplo Si $\mathscr{C}(c) = \{a, b\}$, $c = a \circ b \circ c$ y $a, b \sqsubset c$.

A continuación, otras dos consecuencias del Postulado 1.2. Primero, el

TEOREMA 1.5 Existe sólo un universo.

Demostración Por el Postulado 1.3, todo $T \subseteq S$ tiene un supremo y por el Teorema 1.2, $[S] = ▯$. Y todos los supremos son únicos.

Demostración alternativa Supóngase que hay un universo W diferente de ▯. Luego, dado que todo individuo concreto es parte de ▯, también debe serlo W. Por consiguiente, W merece ser llamado subuniverso, en lugar de universo.

Comentario Como numerosos enunciados de este capítulo, éste es trivial desde el punto de vista matemático. Sin embargo, no lo es desde el punto de vista filosófico, en vistas de la moda de la metafísica de los mundos posibles (Capítulo 4, Sección 6.2), la interpretación (errónea) de los universos múltiples de la mecánica cuántica (Capítulo 4, Sección 6.6) y los tres mundos de Popper.

COROLARIO 1.4 Todo lo que sea ajeno al mundo no es un individuo sustancial.

Demostración Por el Postulado 1.2, para todo $x \in S$, $x \sqsubset [\,]$. Por contraposición, si $\neg(x \sqsubset [\,])$, luego $\neg(x \in S)$.

Comentario Las clases, tales como S, cada uno de sus subconjuntos y su conjunto potencia, son ajenos al mundo. Y también lo es todo objeto constituido por clases. Lo mismo vale para todo objeto que no satisfaga las cláusulas del Postulado 1.1. Llamaremos *constructo* a todo objeto que no sea un individuo sustancial (miembro de S). Vale decir, nada es a la vez un constructo y un individuo sustancial. Más sobre esto en la Sección 3.2. A continuación, demostraremos un puñado de principios de conservación. Primero, el

TEOREMA 1.6 Si de la asociación resulta el individuo nulo, para empezar, los asociados eran nulos:

$$\text{Para todo } x, y \in S, x \circ y = \square \Rightarrow x = \square \;\&\; y = \square.$$

Demostración Suponer el antecedente, o sea $x \circ y = \square$. Ahora bien, $x = x \circ \square = x \circ (x \circ y) = (x \circ x) \circ y = x \circ y = \square$ por asociatividad, idempotencia e hipótesis. Lo mismo con y.

TEOREMA 1.7 Ningún individuo sustancial se asocia de forma destructiva con otro: si $x \neq \square$, luego no hay ningún $y \in S$ tal que $x \circ y = \square$ o bien $y \circ x = \square$.

Demostración Supóngase que $x \in S$ es diferente de $\square$ y que en S hay un elemento y, tal que $x \circ y = \square$. Luego, por el Teorema 1.6 y el *modus tollens*, $x = \square$, contrariamente a la hipótesis.

Comentario 1 En otras palabras, excepto $\square$, S no posee inversas. En consecuencia, *(a)* S no puede tener estructura de grupo y *(b)* la creencia de que por cada cosa dada existe una anticosa, de modo tal que se aniquilan entre sí, es incorrecta. *Comentario 2* En ocasiones se dice que cuando las partículas de materia y antimateria se unen, se «aniquilan» recíprocamente. No hay ninguna aniquilación; en su lugar ocurre la conversión de un par de entidades materiales (por ejemplo, un electrón y un positrón) en un trozo de campo (por ejemplo, un fotón de rayos gama).

COROLARIO 1.5 Siempre que comience con algo, la asociación no acaba en la nada:

$$\text{para todo } x, y \in S, x \neq \square \;\&\; y \neq \square \Rightarrow x \circ y \neq \square.$$

Demostración Por el Teorema 1.6 y por contraposición.

COROLARIO 1.6 Nada se produce por asociación de la nada.

Demostración Ésta es la interpretación ontológica de la definición implícita de individuo nulo, es decir, $x \circ \Box = \Box \circ x = x$.

COROLARIO 1.7 El mundo [o universo] no aumenta por la asociación de una de sus partes: para todo $x \in S$, $x \circ ▯ = ▯ \circ x = ▯$.

Demostración Por definición de mundo.

Comentario Los Corolarios 1.5 y 1.6 fueron formulados originalmente por Epicuro y luego reafirmados por Lucrecio en forma de postulados: «La materia es indestructible» y «La materia no puede crearse». (Cf. DeWitt, 1954; Lucrecio 55 a.n.e.).

Otro axioma del atomismo griego era que todo objeto es o bien básico (simple), o está compuesto de objetos básicos (simples). Adoptaremos esta hipótesis de que existen unos ladrillos básicos de los cuales todo –desde las moléculas a las estrellas y desde la célula al ecosistema– está compuesto, porque ha resultado enormemente fructífera en la ciencia moderna. O sea, establecemos el

POSTULADO 1.4 Hay un subconjunto propio B de S, tal que todo individuo concreto es la agregación de miembros de B. Vale decir, para todo $x \in S$ diferente del individuo nulo, existe un único subconjunto $Bx \subset B$ tal que $x = [Bx]$. Por consiguiente, en lugar de utilizar la función de agregación íntegra, $[\ ]: 2^S \to S$, sólo necesitamos su restricción al conjunto potencia de los simples o básicos, es decir, la biyección $[\ ]| 2^B: 2^B \to S$.

Haremos un uso explícito del Postulado 1.4 en nuestra teoría del espacio (Capítulo 6). A propósito, no es necesario que los objetos simples (básicos) sean espacialmente inextensos. Por la Definición 1.1, un individuo básico o simple es un individuo que no está compuesto por otros individuos. Por ejemplo, según las teorías actuales, el electrón como tal es un objeto simple, a causa de que es una totalidad (o un todo) indivisible, aun cuando tanto su campo electromagnético como su campo ψ posean extensión espacial. Otra manera de expresarlo es afirmar que, aunque poseen extensión espacial, los electrones no tienen partes propiamente dichas. En general,

$$\text{si} \quad x, y \in B \quad \text{y} \quad x \sqsubset y, \quad \text{luego} \quad x = y.$$

Hasta aquí hemos llegado con la teoría de asociación. La generalizaremos en la Sección 2, pero antes debemos examinar otras dos nociones interesantes.

1.4. Agregados atómicos

Un supuesto tácito de la teoría de asociación es que no hay dos individuos idénticos. De hecho, si un subconjunto T de S está compuesto por dos individuos idénticos, por el principio de extensionalidad de la teoría de conjuntos, T es un conjunto unitario. En consecuencia, la teoría de asociación no admite la posibilidad de que haya múltiples copias de algunos individuos, lo que sí ocurre en el caso de las letras del alfabeto, las cuales pueden multiplicarse a voluntad. Exploraremos esta alternativa.

Supongamos que hay objetos simples y que toda cosa es o bien un objeto simple o bien una asociación de objetos simples, es decir, aceptemos el Postulado 1.4. Y supongamos, también, que un único objeto simple a puede estar repetido un número indeterminado de veces, formando las entidades compuestas $a \circ a$, $a \circ a \circ a$, etc. Desde luego, dos objetos simples, a y b darán lugar a una variedad mayor: $a \circ a$, $a \circ a \circ a$, ..., $b \circ b$, $b \circ b \circ b$, ..., $a \circ b$, $a \circ a \circ b$, $a \circ a \circ b$, ..., $a \circ b \circ b$, $a \circ b \circ b \circ b$, ... Resulta obvio que, siempre que haya suficientes copias de ellos, incluso unos pocos individuos básicos darán origen tanto a la numerosidad como a la variedad: éste fue un descubrimiento fundamental de los atomistas griegos e indios: *multum ex parvo*.#

Para formalizar la idea anterior, comenzaremos por un conjunto básico A de átomos, u objetos simples, distintos, y resignaremos el postulado de idempotencia. Llamemos $A = \{a_i \mid i \in \mathbb{N}\}$ al conjunto de elementos básicos, o átomos, permitámosles asociarse, como en $a_i \circ a_j$ y $a_j \circ a_i$, y consideremos que la asociación de dos réplicas de un átomo dado a_i –vale decir, $a_i \circ a_i$– es un tercer individuo distinto de a_i. Puesto que un agregado atómico no es, él mismo, un átomo, A no está cerrado respecto de la asociación. Lo que está cerrado es el conjunto A^* de todas las cadenas. Por ejemplo, un único átomo origina un número infinito de complejos. En efecto, si $A = \{a\}$, luego $A^* = \{a^n \mid n \in \mathbb{N}\}$ donde a^n expresa de forma abreviada la concatenación de copias idénticas de a. El conjunto A^* es isomórfico con respecto al conjunto de los números naturales, por lo que un universo formado por átomos de una única clase podría

Literalmente, «mucho a partir de poco». [N. del T.]

ser infinitamente complejo. En general, si A es un conjunto no vacío de átomos, u objetos básicos, la colección A^* de cadenas de miembros de A se llama *monoide libre generado por A*.

Ejemplo 1 El conjunto de todos los compuestos químicos concebibles es el monoide libre generado por el conjunto de elementos químicos o especies de átomos, que son más de 100. Sin embargo, el conjunto de compuestos permitido por las leyes de enlace químico es un subconjunto finito de ese monoide libre. En consecuencia, si bien HHHHHH es concebible, no es químicamente posible. Más sobre la distinción entre posibilidad real y posibilidad conceptual en el Capítulo 4. *Ejemplo 2* La estructura mínima de un lenguaje con un alfabeto Σ es el monoide libre generado por Σ: cf. Volumen 1, Definición 1.1.

Podríamos suponer, a modo de modelo grosero del mundo, que su moblaje es un monoide libre sobre un conjunto finito S de objetos simples. Sin embargo, sabemos que se trata de una simplificación excesiva: en el mundo real, las cosas no se presentan en copias idénticas sino, a lo sumo, en semicopias. Además, no todas las concatenaciones pensables son realmente posibles. Con todo, ciertos subconjuntos de S –las partículas elementales, los núcleos atómicos, los átomos, las moléculas, las células, etc.– sí se presentan en copias *casi* idénticas. Por consiguiente, para estas cosas, el monoide libre sobre un conjunto finito de átomos, u objetos simples, es un modelo bastante adecuado (aproximadamente verdadero).

1.5. Agrupamiento

Las asociaciones y disociaciones de las cosas reales se producen de maneras específicas –por ejemplo, mediante movimiento o por intermedio de fuerzas–, por lo cual su estudio pertenece a las ciencias especiales. Sin embargo, es posible describir a priori ciertos rasgos de ese proceso, por ejemplo el agrupamiento de una colección de individuos en grupos. Tanto es así que este problema es el objeto de estudio de una rama de la matemática pura: la combinatoria (o análisis combinatorio). Echemos un vistazo a unos pocos problemas típicos de este campo de conocimiento.

Problema 1 ¿De cuántas maneras se pueden asociar n individuos si se supone que la asociación (concatenación) no es conmutativa? En otras palabras, ¿cuántas permutaciones de n objetos (conceptuales o físicos) son posibles? Respuesta: $n!$ (vale decir, 1 . 2 . 3 … n). Ejemplo: los individuos *a*, *b*, *c* se pueden asociar del siguiente modo: *abc*, *bca*, *cab*, *bac*, *acb*, *cba*.

Problema 2 Considérense n objetos reunidos en grupos (o celdas o bloques) de m individuos cada uno (donde $m \leqslant n$) independientemente del orden. ¿Cuántos de estos grupos hay? Respuesta: hay $n! / (n - m)!\, m!$ combinaciones de n individuos tomando m por vez.

Problema 3 Un conjunto de n objetos se divide en m grupos, donde $m < n$. ¿Cuántos grupos contendrán dos o más individuos? Respuesta: por lo menos uno (el principio del palomar, de Dirichlet).

Problema 4 Considérese un conjunto de n objetos. ¿De cuántas maneras se lo puede dividir? Por ejemplo, $S = \{a, b, c\}$ se puede dividir de los siguientes cinco modos:

$\{a\}, \{b\}, \{c\}$	$\langle 3, 0, 0\rangle$
$\{a, b\}, \{c\}; \{b, c\}, \{a\}; \{a, c\}, \{b\}$	$\langle 1, 1, 0\rangle$
$\{a, b, c\}$	$\langle 0, 0, 1\rangle$

Toda partición está caracterizada por su tipo $\langle m_1, m_2, \ldots, m_n\rangle$, donde m_1 es el número de divisiones sencillas, m_2 el de parejas y así sucesivamente. En cada partición, el número de bloques es $b = m_1 + m_2 + \ldots + m_n$ y $n = m_1 + 2m_2 + \ldots + nm_n$.

Como la aritmética, la combinatoria es una teoría de objetos de cualquier clase. Por consiguiente, es demasiado general para hacer las veces de teoría ontológica. (Recuérdese la Sección 6 de la Introducción). Con todo, desde luego, puede ingresar a la ontología, junto con otras teorías matemáticas, como auxiliar.

1.6. Comentario histórico

Nuestra teoría de asociación tiene cierto parecido superficial con la ontología propuesta por Leśniewski, en 1916 (véase Sobociński, 1954-55) y elaborada en diferentes direcciones por Tarski (1927), Leonard & Goodman (1940), Lejewski (1967) y pocos más. Las principales diferencias son: *(a)* nuestra teoría es mucho más simple que las demás, aunque sólo fuera porque adopta un formalismo matemático estándar (la teoría de semigrupos) y no evita el lenguaje de la teoría de conjuntos, que Leśniewski sí tuvo el cuidado de evitar; *(b)* mientras que la teoría de Leśniewski (llamada mereología) y su progenie forman la totalidad de la ontología nominalista contemporánea, nuestra teoría de asociación es solamente la piedra fundacional del vasto edificio que contiene elementos tales como propiedades y clases, los cuales son anatema para los nominalistas; *(c)* nuestra teoría de asociación y la teoría de ensamblado que propondremos a continuación han sido pensadas no sólo como teorías filosóficas, sino también como teorías que pueden utilizarse en los fundamentos de la ciencia, tal como explicaremos en la Sección 4.

2. Ensamblado

2.1. Intersección

La noción de asociación dilucidada en la sección anterior es sumamente general: hay numerosas maneras en que dos individuos concretos pueden asociarse. Ahora introduciremos dos conceptos específicos de asociación: los de yuxtaposición, o suma física, e intersección o producto físico. Dos cosas colocadas una junto a otra se suman o yuxtaponen, en tanto que dos fluidos, cuando se mezclan, se intersecan. Formalizaremos estos modos de asociación como otras tantas operaciones binarias en el conjunto S de individuos concretos y designaremos con '$\dot{+}$' la yuxtaposición y con '$\dot{\times}$' la intersección.

Ejemplo 1 Sea el universo, dividido en dos partes mutuamente separadas, a saber a y b, vale decir, $▯ = a \dot{+} b$, con $a \dot{\times} b = \square$. El conjunto $S = \{a, b, \square, ▯\}$ es un retículo completo, ya que todos los miembros de S pueden unirse por parejas, de dos maneras, sin aumentar S: obsérvese la Figura 1.3(*a*).

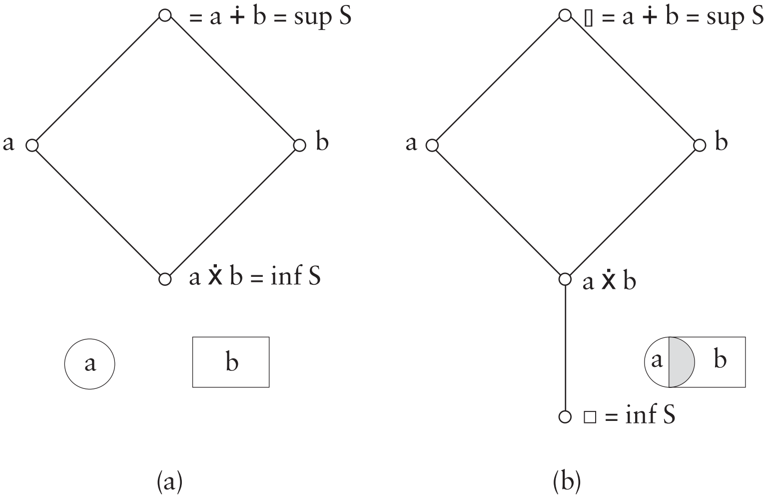


Figura 1.3. Dos ejemplos de (a) yuxtaposición y (b) intersección.

Ejemplo 2 Sea el universo compuesto por dos cosas superpuestas, vale decir, $\blacksquare = a \dotplus b$, con $a \dot{\times} b \neq \square$. El conjunto $S = \{a, b, a \dot{\times} b, \square, \blacksquare\}$, el cual incluye al conjunto anterior, también tiene estructura de retículo: obsérvese la Figura 1.3*(b)*.

La idea de intersección se precisa en la

DEFINICIÓN 1.7 Sean x e y individuos concretos. Luego, la *intersección* de x e y es la agregación de sus partes comunes. Es decir,

Si $x, y \in S$, luego $x \dot{\times} y =_{\text{df}} [\{ z \in S \mid z \sqsubset x \ \&\ z \sqsubset y\}]$.

Obviamente, por la Definición 1.5, la anterior definición de “intersección” es equivalente a la

DEFINICIÓN 1.8 Para todo $x, y \in S$, $x \dot{\times} y =_{\text{df}} [\mathscr{C}(x) \cap \mathscr{C}(y)]$.

2.2 Separación y complemento

La nueva operación permite introducir otras nociones. Primero, la

DEFINICIÓN 1.9 Sean x e y dos individuos concretos distintos. Luego,

(i) x e y están *separados* [*detached*] (o *aparte*) sii su intersección es nula:

$$x \rceil y =_{\mathrm{df}} x \dot{\times} y = \Box;$$

(ii) x e y se *intersecan* sii no están separados:

$$x \between y =_{\mathrm{df}} x \dot{\times} y \neq \Box.$$

Comentario Aquí no hay involucrada ninguna noción espaciotemporal. Por el contrario, el concepto de separación nos ayudará a definir conceptos espaciales en el Capítulo 6.

DEFINICIÓN 1.10 El *complemento* de un individuo concreto es la agregación de todos los individuos separados de él. Vale decir, para todo $x \in S$,

$$x' =_{\mathrm{df}} [\{S \mid y \rceil x\}].$$

2.3 Formalización: el retículo de entidades

De la definición 1.7 (o de su equivalente, la Definición 1.8) se sigue que la intersección es *asociativa* y *conmutativa*. Es decir que para todo $x, y \in S$, $x \dot{\times} (y \dot{\times} z) = (x \dot{\times} y) \dot{\times} z$, $x \dot{\times} y = y \dot{\times} x$. Otra consecuencia es que la intersección ($\dot{\times}$) y la yuxtaposición ($\dot{+}$) se combinan en las leyes de *absorción*. Vale decir que para todo $x, y \in S$,

$$x + (x \dot{\times} y) = x, \text{ porque } x \dot{\times} y \sqsubset x;$$
$$x \dot{\times} + (x + y) = x, \text{ porque } x \sqsubset x + y.$$

Además, la parte en común entre una entidad y nada es nada, así como la parte en común de una entidad y el universo es la entidad: para todo $x \in S$,

$$x \dot{\times} \Box = \Box, \qquad x \dot{\times} [\,] = x,$$

Por último, demostraremos que cada operación *se distribuye* sobre la otra. Primero mostraremos que, para todo $x, y, z \in S$,

$$x \dot{\times} (y \dot{+} z) = (x \dot{\times} y) \dot{+} (x \dot{\times} z).$$

Consideremos un individuo simple o básico $b \in B$, que es parte de la entidad denotada por el miembro izquierdo de la igualdad anterior. Luego, en virtud de la definición de intersección, son válidas las siguientes equivalencias:

$$x \vee (y \wedge z) = (x \vee y) \wedge (x \vee z); x \wedge (y \vee z) = (x \vee y) \vee (x \vee z).$$

La teoría de retículos junto con la interpretación ontológica que hemos esbozado en la subsección anterior, constituyen la teoría ontológica que llamaremos *teoría de ensamblado*. El fundamento de esta teoría es el

TEOREMA 1.7 La estructura $\mathscr{L} = \langle S, \dot{+}, \dot{\times}, ', \square, \blacksquare \rangle$, en la que S es un conjunto no vacío, $\square$ y $\blacksquare$ elementos seleccionados de S, $\dot{+}$ y $\dot{\times}$ operaciones binarias en S y $'$ una operación unaria en S, es un retículo de idempotentes, complementado con un único complemento y distributivo (es decir, un retículo de Boole), que cumple las siguientes condiciones adicionales:

(i) S es el conjunto de todos los individuos concretos,
(ii) $\square$ es el individuo nulo y $\blacksquare$ representa el mundo,
(iii) para todo individuo x e y, $x \dot{+} y$ representa la yuxtaposición (suma física) de x e y, en tanto que $x \dot{\times} y$ representa la intersección (producto físico) de x e y;
(iv) la inversa (complemento) de un individuo x, vale decir, el individuo x' tal que $x' \dot{+} x = \blacksquare$ y $x \dot{\times} x' = \square$, representa el entorno o mundo exterior de x.

Comentario 1 La operación unaria (inversión o complementación) está definida para toda entidad individual. El universo y el individuo nulo son las inversas el uno del otro. (El universo, en consecuencia, no posee entorno). De más está decir que x' no es el opuesto de x, sino únicamente su complemento para el mundo. *Comentario 2* Las dos operaciones binarias están definidas para cada par de individuos. Pero mientras que la yuxtaposición de dos entidades no nulas es un tercer individuo no nulo, su intersección puede ser nula, en cuyo caso están separadas. *Comentario 3* A primera vista, la intersección puede dar como resultado la aniquilación, y la interferencia de ondas parece ejemplificar este proceso. Pero no es el caso: dos campos pueden intersecarse de manera destructiva en una parte de la región en la que existen, y no en su totalidad, de otro modo, no habría conservación de la energía ni del momento cinético. *Comentario 4* Cuando dos o más individuos se asocian de manera aditiva para formar una totalidad, mantienen sus identidades. En consecuencia, un agregado, tal como se lo trata en esta teoría, está plenamente caracterizado por su composición.

El axioma precedente nos permitirá refinar unas cuantas nociones interesantes.

Ahora disponemos de dos conceptos de agregación:

DEFINICIÓN 1.11 Sea $T \subseteq S$ un conjunto de individuos concretos. Luego,

(i) el *ensamblaje aditivo* de T –o, abreviado, $[T]$– es el supremo (m.c.s.) de T: $[T] = sup\ T$;

(ii) el *ensamblaje multiplicativo* de T –o, abreviado, (T)– es el ínfimo (la mayor de las cotas inferiores o m.c.i.) de T: $(T) = ínf\ T$.

Comentario 1 En realidad, acabamos de introducir dos funciones de ensamblaje diferentes: [ ], ( ): $2^S \to S$, cada una de la cuales aplica un conjunto de entidades en la entidad individual. Dando por supuesto el Postulado 1.4, sólo necesitamos las restricciones de estas funciones al conjunto potencia del conjunto de los objetos básicos. *Comentario 2* Desde luego, las dos cotas, *sup T* e *ínf T*, están definidas con respecto a la relación parte-todo. Son tales que para todo $x \in T$, $x \sqsubset [T]$ y $(T) \sqsubset x$. Además, si $x \sqsubset y$ para todo $x \in T$, $[T] \sqsubset y$. Y si $y \sqsubset x$ para todo $x \in T$, $y \sqsubset (T)$. *Comentario 3* Si $T \subset S$ es un conjunto finito de individuos concretos, su agregación aditiva es la yuxtaposición de sus miembros, en tanto que su ensamblaje multiplicativo es su intersección. O sea, si $T = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, luego

$$[T] = x_1 \dotplus x_2 \dotplus \ldots \dotplus x_n \qquad \text{y} \qquad (T) = x_1 \dot{\times} x_2 \dot{\times} \ldots \dot{\times} x_n.$$

Comentario 4 Si T contiene un par de entidades separadas, su agregación multiplicativa es nula, vale decir, $(T) = \square$. Esto vale, en particular, para todo conjunto de individuos que contenga el complemento de uno de ellos.

Finalmente, introduciremos una noción de descomponibilidad. La idea intuitiva es la que sigue. Sea z un individuo concreto compuesto, no importa cómo, por dos o más individuos. Diremos que el individuo compuesto puede descomponerse (es descomponible) en x e y si estos son individuos diferentes, tal que $z = x \dotplus y$ y $x \rceil y$. No es necesario que los componentes x e y sean los que constituían la totalidad original z

antes de su desmantelamiento en las entidades aparte x e y. Tampoco es necesario que coexistan con z: pueden emerger durante la descomposición. La noción exacta y general de descomponibilidad es la que sigue:

DEFINICIÓN 1.12 Sea x un individuo concreto. Luego, x es descomponible si hay un conjunto $T \subset S$ tal que $[T] = x$ y $(T) = \square$.

Comentario Desde el punto de vista operacionista, sólo la descomposición real cuenta como indicador de la estructura: si no se conoce ningún modo de dividir realmente la entidad, se la declara simple. Contraejemplo: la teoría de partículas actual asigna al neutrón una estructura y, por consiguiente, una composición, pero hasta el momento el neutrón ha resistido todos los esfuerzos tendentes a descomponerlo.[#] Únicamente es válida la inversa de la tesis operacionista: todo lo que realmente puede descomponerse posee una estructura.

DEFINICIÓN 1.13 Un individuo concreto es descomponible unívocamente si y sólo si se puede descomponer de un único modo, vale decir, si hay un único conjunto $T \subset S$, tal que $[T]$ sea igual al individuo de interés y $(T) = \square$.

Comentario Una vez más, la descomponibilidad unívoca no debe confundirse con la única manera conocida de descomponer realmente una cosa. Por ejemplo, hasta el momento, el deuterio ha sido descompuesto solamente en un neutrón y un protón, pero ello no excluye la posibilidad de descomponerlo en un conjunto diferente de productos.

2.4. Algunas consecuencias

Podemos producir varios teoremas nuevos. Pero sólo presentaremos unos cuantos. Primeramente el

TEOREMA 1.8 Toda entidad es parte de un individuo concreto: si $x \in S$, luego hay al menos un $y \in S$ tal que $x \sqsubset y$.

Demostración Tómese un par arbitrario $a, b \in S$ y fórmese el tercer individuo $c = a \dotplus b$. Este individuo existe y es único, ya que por el Teore-

[#] Esto ha cambiado, porque en la actualidad se considera que los neutrones están compuestos por quarks y gluones. [N. del T.]

ma 1.7 S forma un retículo. Y, por la definición de la relación parte-todo, $a, b \sqsubset a \dotplus b$.

corolario 1.10 Toda entidad es compuesta, bien de forma propiamente dicha o bien de manera impropia. O sea, para todo $x \in S$, $(\exists y)(y \in S \;\&\; y \sqsubset x)$.

Demostración Se sigue del Teorema 1.8.

Comentario 1 Que un individuo sea compuesto de manera impropia (o trivial) significa, desde luego, que sólo está compuesto por él mismo. El supuesto de que todo individuo con el que pudiéramos encontrarnos podría resultar compuesto de forma propiamente dicha, constituye un poderoso supuesto heurístico que no debe confundirse con el Corolario 1.10. *Comentario 2* El resultado anterior tampoco debe confundirse con la afirmación de que S posee un mínimo distinto del elemento nulo y que sería parte de todos los demás individuos.

A continuación, utilizaremos las nociones de descomponibilidad (Definición 1.12) y descomponibilidad unívoca (Definición 1.13) para obtener un par de resultados interesantes.

teorema 1.9 Todo individuo sustancial es descomponible. La descomposición incluye la descomposición trivial de un individuo en sí mismo y la entidad nula $\square$.

Demostración Sea y una parte de $x \in S$ y tómese el entorno y' de y: $y \dotplus y' =$ ▯ e $y' \dot{\times} y = \square$. Llámese $z = y' \dot{\times} x$ a la intersección de y' y x. Esto es lo que completa a y para formar x: $y \dotplus z = x$, con $y \dot{\times} z = \square$. Hemos llevado a cabo la descomposición de una entidad arbitraria x en y y z.

teorema 1.10 Ningún individuo compuesto es descomponible unívocamente. De manera equivalente: para todo $x \in S$ distinto de $\square$, x es descomponible unívocamente sii x es simple (vale decir, si solamente es descomponible de manera trivial: $x = x \dotplus \square$).

Demostración (i) La parte *sólo si*: sea $y \sqsubset x$. Luego, $x = y \dotplus (y' \dot{\times} x)$ es una descomposición. A fin de que sea única, debe ser $x = x \dotplus \square$ o $x = \square \dotplus x$. Por consiguiente, $y = x$ o bien $y = \square$. (ii) La parte *si*: si $x = y \dotplus z$ y x es simple, luego $y = \square$ o $y = x$ y también $z = \square$ o $z = x$. Hay dos posibilidades: si $y = \square$, $z = x$ y tenemos la descomposición $x = \square \dotplus x$. Y si $y = x$ y también $z = x$, luego $y \dot{\times} z = x \neq \square$. Pero ésta es una contradicción, por lo cual tenemos $z = \square$ y, en consecuencia, la descomposición $x = x \dotplus \square$.

Ahora la ley de conservación o teorema de Epicuro:

TEOREMA 1.11 Si $x, y \in S$ no son el individuo nulo, luego

(i) el resultado de su yuxtaposición no es el individuo nulo: $x \dotplus y \neq \square$;

(ii) siempre que no estén separados, de su intersección tampoco resulta el individuo nulo: $x \dot{\times} y \neq \square$;

(iii) ningún ser surge de la nada por yuxtaposición ni por intersección: $[\square] = \square$ y $(\square) = \square$.

Por último, un par de teoremas acerca de la separación (Definición 1.9).

TEOREMA 1.12 La separación es hereditaria, es decir que las partes de entidades separadas también están separadas entre sí. O sea, para todo individuo concreto x e y,

$$x \rceil y \mathbin{\&} u \sqsubset x \mathbin{\&} v \sqsubset y \Rightarrow u \rceil v.$$

Demostración Por las definiciones de separación y de parte,

$$x \dot{\times} y = (x \dotplus u) \dot{\times} (y \dotplus v) = \square.$$

Realizando las operaciones indicadas y recordando la distributividad de $\dotplus$ sobre $\dot{\times}$,

$$x \dot{\times} y = (x \dot{\times} y) \dotplus (x \dot{\times} v) \dotplus (u \dot{\times} y) \dotplus (u \dot{\times} v) = \square.$$

Por el Teorema 1.11, todo sumando debe ser nulo. En particular, $u \dot{\times} v = \square$, lo que equivale a $u \rceil v$.

Comentario Este teorema muestra que nuestra relación de separación [*detachment*] $\rceil$ para entidades es análoga a la relación de separación [*separation*] para conjuntos (Wallace, 1941).

TEOREMA 1.13 La separación [*detachment*] es aditiva. O sea, si dos individuos concretos están separados de un tercero, su yuxtaposición también lo estará: para tres entidades $x, y, z \in S$,

$$x \rceil z \mathbin{\&} y \rceil z \Rightarrow (x \dotplus y) \rceil z.$$

Demostración Supóngase que el consecuente es falso. Este supuesto es equivalente a $(x \dotplus y) \dot{\times} z \neq \square$, lo cual se desarrolla en $(x \dot{\times} z) \dotplus (y \dot{\times} z) \neq \square$. A su vez, el último enunciado equivale a $x \dot{\times} z \neq \square \vee y \dot{\times} z \neq \square$. Pero el primer disyunto equivale a $\neg(x \lfloor z)$ y el segundo a $\neg(y \lfloor z)$, contrariamente a la hipótesis. Por tanto, el consecuente es verdadero.

Comentario En la teoría de los espacios de separación de Wallace (Wallace, 1941), la aditividad es postulada, no demostrada.

2.5. Átomos y niveles

La noción general de composición (Definición 1.5) debe ser complementada con otra noción más específica, que resultará más útil que la anterior: la de composición relativa a cierto conjunto o nivel de entidades. Por tanto, en el caso de una sociedad animal considerada como totalidad, estamos interesados en el conjunto de sus componentes, no en el conjunto total de sus partes, tales como las células de los animales, y menos aún en los componentes atómicos de sus células. En otras palabras, deseamos saber cuáles son los átomos «relativos» de esa totalidad. La idea que deseamos es la siguiente:

DEFINICIÓN 1.15 Sea $A \subset S$ un conjunto de entidades. Luego, la *composición A* (o *composición al nivel A*) de un individuo concreto $x \in S$ es el conjunto de partes de x que pertenecen a A:

$$\mathscr{C}_A(x) = \mathscr{C}(x) \cap A = \{y \in A \mid y \sqsubset x\}.$$

Ejemplo La composición molecular de un cuerpo de agua es el conjunto de sus moléculas de H_2O. En cambio, la composición atómica del mismo cuerpo es el conjunto de átomos de H y de O que lo componen.

Haremos un extenso uso de esta noción en el Capítulo 7 del Volumen 4, que versa sobre los sistemas, en el cual consideraremos que la composición de un sistema es cierta composición A. Desearemos que la composición de un sistema sea igual a la unión de las composiciones de sus subsistemas. Sin embargo, en general, la composición de un individuo complejo no es igual a la unión de las composiciones de sus componentes: véase la Figura 1.5. En cambio, la composición A sí posee la

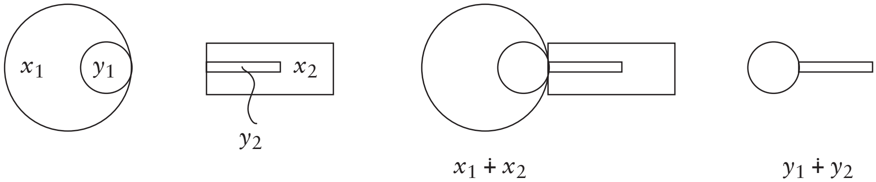


Figura 1.5. El individuo compuesto $x_1 \dotplus x_2$ posee una parte, a saber $y_1 \dotplus y_2$, que no es parte de x_1 ni de x_2. En general, $\mathscr{C}(x_1) \cup \mathscr{C}(x_2)$ es una parte propiamente dicha de $\mathscr{C}(x_1 \dotplus x_2)$. Esto no es así en el caso de la composición A de un individuo compuesto: véase el Teorema 1.14.

propiedad deseada y éste es un motivo para preferirla a la noción general de composición. En efecto, tenemos el

TEOREMA 1.14 Sean $A \subset S$ un conjunto de individuos sustanciales (átomos de nivel A) y $x_1, x_2 \in S$ dos individuos concretos. Luego,

$$\mathscr{C}_A(x_1 \dotplus x_2) = \mathscr{C}_A(x_1) \cup \mathscr{C}_A(x_2).$$

Demostración Si $x \in \mathscr{C}_A(x_1)$, x es un átomo A (un miembro de A) y, en consecuencia, $x \sqsubset x_1 \sqsubset x_1 \dotplus x_2$. Por consiguiente, $x \in \mathscr{C}_A(x_1 \dotplus x_2)$. De manera semejante, $x \in \mathscr{C}_A(x_2) \Rightarrow x \in \mathscr{C}_A(x_1 \dotplus x_2)$. Por tanto, $\mathscr{C}_A(x_1) \cup \mathscr{C}_A(x_2) \subseteq \mathscr{C}_A(x_1 \dotplus x_2)$. Ahora veamos la implicación inversa. Si $x \in \mathscr{C}_A(x_1 \dotplus x_2)$, $x \sqsubset x_1 \dotplus x_2$, lo cual es equivalente a $x \dot{\times} (x_1 \dotplus x_2) = x$. Por distributividad, se sigue que $x \dot{\times} x_1 \dotplus x \dot{\times} x_2 = x$. Pero x es un A-átomo y, por consiguiente, debemos tener $x \dot{\times} x_1 = x$ o $x \dot{\times} x_2 = x$, vale decir, $x \sqsubset x_1$ o $x \sqsubset x_2$. Acabamos de probar que $\mathscr{C}_A(x_1 \dotplus x_2) \subseteq \mathscr{C}_A(x_1) \cup \mathscr{C}_A(x_2)$. Esto, junto con el resultado anterior, da como resultado la demostración deseada.

Las entidades de clase A, o A-átomos, pueden ser simples (o sea, miembros de un conjunto B de objetos básicos) o complejas. Para poder ser considerada miembro de un conjunto dado A, una entidad debe poder asociarse con otras entidades similares para formar entidades complejas de una clase diferente. Pero todavía no disponemos de la noción de clase natural, la cual se introducirá en la Sección 3.3 del Capítulo 4. En consecuencia, por el momento tendremos que arreglárnoslas con una noción presistemática o intuitiva de átomo A. Lo mismo vale, con mayor razón, para la noción de nivel. Todo lo que podemos decir aquí es que se puede dividir la totalidad S de entidades en cierto número n de conjuntos disjuntos A_i, cada uno de cuyos miembros está compuesto –de manera aditiva o multiplicativa– por entidades del nivel próximo inferior A_{i-1}. La hipótesis de niveles se puede formular del siguiente modo:

$$\mathrm{S} = \bigcup_{i=1}^{n} A_i, \quad \bigcap_{i=1}^{n} A_i, = \varnothing, \text{ con } A_i = \{a_i^n | n \in \mathbb{N}\}$$

y

$$a_i^n = [\alpha_{i-1}^n] \quad \text{o} \quad (\alpha_{i-1}^n), \qquad \text{donde } \alpha_{i-1}^n \subseteq A_{i-1}.$$

Retomaremos el tema de los átomos (relativos) y los niveles de organización en el Capítulo 8 del Volumen 4.

2.6. Formalizaciones alternativas

Se han explorado formalizaciones alternativas de las nociones de yuxtaposición e intersección. Una de ellas está desarrollada en términos de la teoría de anillos, o sea que consiste en suponer que $\langle S, \dotplus, \dot{\times}, \square, \rrbracket \rangle$ constituye un anillo de idempotentes (Bunge, 1971a, 1973a). En esta interpretación, es necesario abstenerse de interpretar el elemento unidad del anillo como el universo, ya que en este caso la unidad no es el elemento último. No se trata de un defecto mortal: el problema está en dejar un primitivo sin interpretación ontológica. Lo que sí puede constituir un defecto es que en la teoría de anillos $\dot{\times}$ se distribuye sobre $\dotplus$, pero no a la inversa. En compensación, las leyes de absorción no aparecen en la teoría de anillos.

Otra formalización alternativa consiste en una interpretación del álgebra booleana (Bunge, 1967b). Ambas formalizaciones, si bien diferentes, son equivalentes. En realidad, por un famoso teorema de Stone, un anillo booleano conmutativo $\langle S, +, \cdot, 0, 1\rangle$ determina un álgebra de Boole $\langle \mathrm{S}, \cup, \cap, 0, 1\rangle$ con intersecciones y uniones definidas del siguiente modo:

$$x \cup y = x + y + x \cdot y, \qquad x \cap y = x \cdot y.$$

Podemos adoptar cualquiera de estas formalizaciones alternativas en el caso en que la clase de referencia sea un subconjunto propio del conjunto total S de individuos concretos. En este caso, la unidad no se interpretará como el universo. La interpretación propia de la teoría de anillos puede preferirse cuando esta condición se satisfaga y no se requiera que la intersección sea conmutativa.

De más está decir que otra alternativa, sin los defectos de las dos anteriores, sería de agradecer. Lo mismo se aplica a cada una de nuestras teorías ontológicas: deben explorarse diferentes formalizaciones de las mismas intuiciones, así como intuiciones alternativas.

2.7. Comentarios finales

Nuestras dos teorías de la sustancia –la teoría de asociación y la teoría de ensamblado– sistematizan las ideas intuitivas de objeto físico y de asociación de individuos concretos. No hemos llamado *mereología* a nuestras teorías –tal como deberíamos hacer si siguiésemos el camino de Leśniewski– porque van más allá de la dilucidación de la relación parte-todo. Si sólo nos interesara este concepto, podríamos adoptar una teoría más sencilla, la de pares ordenados. En efecto, si se supone que la estructura $\langle S, \sqsubset \rangle$ es un conjunto parcialmente ordenado y se añaden las interpretaciones obvias de S y de $\sqsubset$, obtendremos una caracterización exacta de la noción de parte. Y ésta, a su vez, nos permitirá definir unos cuantos conceptos más, en particular los de separación [*detachment*] y composición. Sin embargo, esta teoría resultaría demasiado pobre: para empezar, no aclara ninguna noción de asociación y esto es de lo que tratan nuestras teorías de la sustancia.

Tampoco hemos llamado a nuestras teorías *cálculo de individuos*, tal como han llamado Leonard & Goodman (1940) a su versión de la mereología de Leśniewski. Uno de los motivos de ello es que toda teoría matemática de primer orden es un cálculo de individuos: el que sea o no un cálculo de individuos físicos es otro asunto. Otro motivo es que, a diferencia de Leśniewski y los demás nominalistas, hacemos una distinción radical entre los individuos físicos y los individuos conceptuales, y rechazamos la tesis de que una única teoría sea capaz de dar cuenta de ambas clases de individuos. En particular, nuestra relación parte-todo vale sólo para individuos ónticos, es decir, $\sqsubset$ está definida sobre $S \times S$. Más acerca de este tema en la siguiente sección.

3. Entidades y conjuntos

3.1. El individuo nulo y el universo

Tanto la teoría de asociación como la teoría de ensamblado incluyen la ficción más grande de todas (□), así como la realidad más grande de todas (▯). El individuo nulo fue considerado por Carnap (1947), Martin (1965) y otros pocos. Por lo general, se lo ha caracterizado por analogía con el conjunto vacío, a saber, «esa cosa que es parte de toda otra cosa». Esta caracterización no es correcta. Primero, □ no es una cosa sino un concepto. Segundo, la caracterización es deficiente: el cuerpo nulo es también el no-cuerpo nulo. (Además, aunque según las teorías el éter no era nulo, se suponía que era parte de todo).

El individuo nulo o no-ser queda mejor caracterizado en términos de asociación o bien de ensamblado, vale decir, como (i) ése que, asociado a todo individuo sustancial da como resultado el mismo individuo sustancial, o como (ii) ése que yuxtapuesto a toda cosa la deja inalterada y si se interseca con ella la anula. En todo caso, □ está en S y es parte de todos los miembros de S. (La afirmación de que □ pertenece a todos los conjuntos, aun al conjunto vacío, conduce a una contradicción). Todas éstas son propiedades definidas de □. O sea, según las teorías formuladas en la sección anterior, decir que el individuo nulo no tiene propiedades es incorrecto, tan incorrecto como decir que posee propiedades concretas (físicas, no conceptuales). Lo que nos recuerda el veredicto de Lucy: «Para no ser nada, Charlie Brown, eres realmente *algo* especial»# (Schulz, 1967).

Lo que sí es cierto es que el individuo nulo simplemente no existe de manera física: se trata de una ficción introducida para conseguir una teoría sin problemas. Necesitamos esta ficción no sólo en la ontología, sino también en los fundamentos de la ciencia, lo cual no es sorprendente ya que ambos campos se intersecan. En consecuencia, en la teoría de campos se le asigna al vacío, vale decir, al campo nulo, diversas propiedades –tales como una potencia de refracción igual a la unidad–. Además, resulta cómodo introducir varios individuos nulos, uno por cada clase natural. Por ejemplo, en la óptica necesitamos el vacío, o cuerpo nulo b_0, y la oscuridad, o campo luminoso nulo l_0. La clase de referencia

«*For a nothing, Charlie Brown, you're really something*». [N. del T.]

de un enunciado acerca de un rayo luminoso l en el vacío es $\{l, b_0\}$, en tanto que un enunciado acerca de un cuerpo b en la oscuridad se refiere a $\{l_0, b\}$ y otro sobre el vacío oscuro trata de $\{b_0, l_0\}$ (Bunge, 1966).

Necesitamos la entidad nula para pensar acerca de las entidades reales, pero no podemos utilizar la primera para construir las segundas. En efecto, a diferencia del conjunto vacío de la reconstrucción de la teoría de números de Von Neumann, el individuo nulo no es el punto de partida de nuestra cosmología, sino sólo un modesto componente de ella, que desempeña una función teórica, pero carece de correlato en la realidad. En otras palabras, las entidades no pueden construirse a partir de la no-entidad. Esto discrepa en foma manifiesta del papel central que Hegel (1812, 1816), Peirce (1892-1893, 6.217) y Heidegger (1927) han asignado al no-ser. (Dicho sea de paso, ninguno de ellos parece haber distinguido la no-entidad o no-ser –es decir, □– de la nada o del conjunto vacío ∅. Con todo, □ y ∅ son radicalmente diferentes, es decir, poseen propiedades diferentes aun cuando ninguno de ellos sea sustancial o real). Lejos de tomar el no-ser como punto de partida, nuestras teorías de la sustancia incluyen la tesis de Epicuro (ápud De Witt, 1955) y Lucrecio (¿55 a.n.e?) de que *(a)* nada surge *ex nihilo* y *(b)* nada acaba en la nada (Teorema 1.11). Nuestro punto de partida es el mundo real, tal como lo entiende la ciencia contemporánea: con el deseo de comprender el mundo, lo desmantelamos en el pensamiento y simplificamos excesivamente sus ingredientes, así como el modo en que estos se ensamblan realmente. Así obtenemos el concepto de sustancia o materia que, una vez enriquecido con propiedades, producirá el concepto de cosa concreta (Capítulo 3).

3.2. Entidades y conceptos

Mientras que el individuo nulo, un concepto, *es* (idéntico a) □, decimos que el universo (o realidad) es *denotado por* el símbolo '▯'. En nuestras teorías de la sustancia, el mundo es un individuo, pero no es solamente un individuo más: es la entidad que tiene como componentes a todas las demás entidades. Pero hasta aquí llegan nuestras teorías de la sustancia: no ofrecen detalles sobre la estructura de ▯. En cambio, sí le asignan una estructura definida (la de semirretículo en un caso, la de retículo en el otro) al moblaje del mundo, vale decir, a S.

Haremos hincapié en que S, el conjunto de todas las entidades, no es lo mismo que el agregado o totalidad $[S]$ compuesto por todos los objetos físicos. La diferencia entre el concepto S y la entidad denotada por $[S] = \square$ ejemplifica la dicotomía constructo/cosa. Para nosotros, esta dicotomía, básica en todo conjunto de objetos, no es aquella entre los individuos y los conjuntos, sino la que hay entre los objetos físicos y los objetos conceptuales. O sea, supondremos que toda clase O de objetos se divide en una clase C de constructos y otra clase $T \subseteq S$ de individuos concretos:

$$O = C \cup T, \qquad \text{con} \qquad C \cap T = \varnothing.$$

En nuestra filosofía, los conjuntos, las relaciones y las funciones, así como las estructuras algebraicas y topológicas, pertenecen a la categoría de los constructos y, como tales, no satisfacen ninguna teoría de la sustancia.

Es del interés de la ontología el que un objeto sea un individuo o un conjunto: si el caso es el primero, puede ser un objeto físico o uno conceptual, si se trata de un conjunto sólo puede ser un concepto. Pero si un objeto *conceptual* (un constructo) es un individuo o un conjunto es relativamente poco importante desde el punto de vista metafísico y hasta matemático. He aquí las razones de ello. Primero, lo que en un contexto teórico es un individuo (conceptual), puede convertirse en un conjunto en otro contexto y viceversa: todo depende de la precisión de nuestro análisis. Segundo, algunas teorías de conjuntos casi no distinguen entre conjuntos e individuos. Sin embargo, hay un supuesto (el axioma D de Von Neumann) que sí traza una frontera entre ambas categorías, estipulando que toda cadena de la forma $x \in y \in z$ tiene un final. (Para todo conjunto no vacío hay un miembro tal que ninguno de sus miembros es miembro del conjunto dado. Este miembro se puede considerar un individuo con respecto al conjunto dado. Por ejemplo, en $A = \{\{a\}\}$ el elemento a es ese individuo, la cadena ascendente es $a \in \{a\} \in A$). Incluso si no se acepta este axioma, la distinción individuo/conjunto se mantiene en la matemática cotidiana. Nosotros la mantendremos.

Ahora estamos en condiciones de aclarar la diferencia entre nuestra ontología y el platonismo respecto de los individuos. (La diferencia con respecto a las propiedades se discutirá en la Sección 5 del Capítulo 2). Supongamos que estamos de acuerdo en considerar o, mejor dicho, darle vueltas a la idea de un universo compuesto por un número finito de átomos o individuos simples. Comencemos por preguntar si estos individuos son conceptuales o concretos. (En cambio, Goodman, 1956, p. 16, considera que esta distinción es «vaga y caprichosa»). Si son conceptuales, dejamos que el platónico se haga cargo de ellos, ya que es su campo, aun cuando allí donde él crea en la existencia autónoma de esas ideas nosotros sólo fingiremos que lo son por conveniencia. No hemos de dudar en construir, no solamente el conjunto potencia del conjunto dado, sino cualquier potencia del conjunto potencia, si lo consideramos necesario. En cambio, si los individuos son sustanciales, hacemos al platónico a un lado y echamos nuestras propias cuentas. El resultado es el siguiente: además de los átomos originales, obtenemos todas sus asociaciones parciales (binarias, ternarias, etc.). Y, por si esto fuera poco, tendremos todas las cosas nuevas que puedan surgir de esas combinaciones, dado que, por la física de alta energía, sabemos que un par de partículas elementales pueden chocar entre sí para producir un gran número de individuos nuevos. En consecuencia, tenemos un universo que, en cuanto a su numerosidad, es infinitamente menor que el universo platónico, si bien apreciablemente mayor que el universo de átomos inmutables e inertes del mecanicismo.

3.3. Existencia e individuación

Russell nos enseñó que el cuantificador existencial $\exists$ no puede presentarse solo, sino que debe estar aplicado a «algo definido», tal como Ax, donde A es un predicado unario. Por consiguiente, a primera vista, parecería que nuestros individuos sustanciales no existen, ya que no tienen peculiaridades. Sin embargo, comparten la propiedad definida de asociarse unos con otros. En otras palabras, todo miembro de $\langle S, \circ, \square \rangle$ está caracterizado por el predicado A definido por

$$Ax =_{df} (\exists y)\,(\exists z)\,(y \in S\ \&\ z \in S\ \&\ x = y \circ z \vee y = x \circ z \vee z = x \circ y).$$

Por tanto, a este esquema proposicional podemos añadirle (x) a modo de prefijo y obtener la proposición «Todos los individuos se asocian».

Además, podemos individuar las entidades que tienen una composición conocida. O sea, podemos formular descripciones definidas de la forma

«El miembro x de S con composición $\mathscr{C}(x)$».

En términos tradicionales: nuestro *principium individuationis*, en esta etapa temprana, es la composición. Obviamente, este principio no sirve para los objetos simples ya que, con excepción del □, carecen de peculiaridades, más allá de su propiedad de asociación. [En consecuencia, no podemos utilizar el método de Quine de tratar todos los términos singulares como descripciones definidas: Quine (1950, Sección 37). A fin de usar este método, debemos tener una reserva de predicados lo bastante nutrida como para caracterizar de manera única cada individuo y esto tendrá que esperar hasta el siguiente capítulo]. Además, el principio anterior ni siquiera nos permite distinguir entre dos moléculas con la misma composición. Pero se trata solamente de una dificultad temporal, dado que adoptaremos un *principium individuationis* mucho más refinado en la Sección 3.2 del Capítulo 2.

Por último, dos o tres palabras acerca de la existencia sustancial en contraste con la existencia en general. La existencia de individuos simples se puede afirmar únicamente examinando todo el conjunto S. Si a pertenece a S y no es el individuo nulo, decimos que a existe. Vale decir, analizamos «a existe» como «$a \neq \square$ & $a \in$ S». A este concepto de existencia podemos llamarle *existencia sustancial indiferenciada*. Esta noción basta en la teoría de la sustancia, donde la única propiedad que identifica a los objetos es la composición. (Más sobre la existencia física en la Sección 4.4 del Capítulo 3). Adviértase que se trata de una noción de existencia óntica o física que debe distinguirse de la de existencia conceptual. En las ciencias formales, decir que un individuo a existe basta para suponer o demostrar que a pertenece a cierto conjunto que ha sido caracterizado de manera satisfactoria. En ontología no necesitamos conjuntos arbitrarios, salvo quizá como auxiliares carentes de sentido ontológico: aquí, existir (sustancial o físicamente) es poseer diversas propiedades concretas, entre ellas las de asociarse con objetos no conceptuales. Por ende, pese a Wittgenstein (1969, Sección 35), la afirmación de que hay objetos físicos es totalmente razonable. Además, da la casualidad de que la ontología se ocupa, precisamente, de esos objetos. (Recuérdese la Introducción, Sección 2).

4. Comentarios finales

Una de las condiciones necesarias para que una teoría ontológica pueda considerarse científica es que sea pertinente para la ciencia. (Cf. Introducción). La teoría de asociación y la teoría de ensamblado cumplen esta condición: son pertinentes respecto de toda teoría científica o tecnológica que se ocupe de sistemas complejos tales como átomos, células, máquinas, cerebros u organizaciones. En particular, una teoría ontológica científica emplea un concepto de asociación y, por consiguiente, debe agradecer una dilucidación del mismo. Sin embargo, en la enorme mayoría de los escritos científicos sólo se emplea un concepto intuitivo de asociación. Sólo cuando se formulan meticulosamente los fundamentos de una teoría científica es posible que $\dotplus$ o $\dot{\times}$ aparezcan de manera explícita, porque entonces son necesarios. Por ejemplo, la afirmación misma de la hipótesis de que la carga eléctrica Q es aditiva supone $\dotplus$:

> Si x e y son cuerpos, y $x \neq y$,
> luego, $Q\ (x \dotplus y) = Q(x) + (Qy)$.

Algo semejante ocurre con la intensidad E de la intersección de dos campos eléctricos:

> Si x e y son campos, y $x \neq y$,
> luego, $E(x \dotplus y) = E(x) + E(y)$.

Aunque sólo fuera por esto, vale decir, porque es necesario, resulta obligatoria la inclusión de alguna versión de teoría de ensamblado entre los presupuestos ontológicos de toda teoría científica referente a sistemas complejos (Bunge, 1967b, 1973b, 1974d).

Si bien el método científico es analítico, de cuando en cuando la comunidad científica es barrida por vientos holísticos, especialmente cuando la ciencia no consigue desvelar la composición real y el funcionamiento interno de ciertas cosas. En esas ocasiones, se ponen de moda las teorías de caja negra y el enfoque mecanicista es menospreciado o, al menos, puesto en la nevera. Una característica del enfoque de cajas negras es que hace uso escaso o nulo del concepto mismo de composición: trata todos los componentes de un sistema y, de manera ocasional, aun a la totalidad del sistema, como una caja carente de estructura. Sin duda, esta estrategia es prudente siempre que se sepa poco o se necesite saber poco acerca de los componentes y de su modo de asociación. Sin embargo, publicitar esta *pis aller*[#] como si fuera lo óptimo es suicida (véase Chew, 1966). En efecto, equivale a eliminar la diferencia entre lo simple y lo compuesto y, por ende, entre lo microfísico y lo macrofísico, además de lo cual renuncia al ideal de la descripción más completa posible de las cosas. Peor aún, esta estrategia ignora toda la complejidad, poca o mucha, que ya haya sido desvelada. Mucho peor: tan drástica reducción de nuestras metas cognitivas no puede ponerse en práctica en microfísica a menos que se tomen prestadas teorías de caja traslúcida, tales como la teoría de campos y la mecánica cuántica estándar (Bunge, 1964; Regge, 1967). En resumidas cuentas, la idea de composición y la meta de descubrir la composición y el modo de asociación precisos no han pasado de moda: en el peor de los casos, algunas uvas aún están verdes.

Hasta aquí llegamos con el concepto de sustancia o materia. A continuación abordaremos el problema de caracterizar el concepto de propiedad.

[#] Del francés: «último recurso». [N. del T.]

Capítulo 2

La forma

El siguiente paso en nuestra reconstrucción conceptual de la noción de cosa real es introducir el concepto de propiedad, rasgo o carácter. Toda cosa real posee cierto número de propiedades: la sustancia sin forma no existe, excepto como ficción útil. Tampoco hay formas puras flotando sobre la materia. Toda propiedad concreta o sustancial, tal como el moverse, el reaccionar o el recordar, es la propiedad de una cosa: cuerpos, reactivos, cerebros o lo que fuere. Si no ocurriera así, la ciencia no intentaría descubrir e interrelacionar las propiedades de las cosas, mucho menos las pautas de asociaciones y cambios de las propiedades, es decir, las leyes.

No podemos dar por sentada la noción de propiedad porque dista de ser obvia. En todo caso, con excepción de la ontología, ninguna disciplina intenta aclarar la noción general de propiedad distinguiéndola de las diversas nociones específicas de propiedad. La lógica, por cierto, se ocupa de la noción de atributo o predicado pero, como veremos en la Sección 1, las propiedades deben distinguirse de los atributos que las representan, salvo, desde luego, en el contexto del idealismo filosófico, en el cual se los confunde.

Tampoco podemos aceptar de manera acrítica la hipótesis de que las cosas poseen propiedades, especialmente porque ha sido objetada por los filósofos nominalistas. En realidad, estos últimos desean prescindir de las propiedades, a las que consideran ficciones platónicas, e intentan reducir todas las cosas a sus nombres y a colecciones de estos (véase, por ejemplo, Woodger, 1951 y Cocciarella, 1972). Como mínimo, el nominalista deseará interpretar cada propiedad como una clase de individuos o de *n*-tuplas de individuos, es decir, adoptará una interpretación ontológica de la doctrina semántica llamada *extensionalismo*, la cual identifica los predicados con sus extensiones. Pero hemos visto (Volumen 1, Capítulo 5, y Volumen 2, Capítulo 10) que el extensionalismo no tiene defensa ni siquiera en matemática, aunque más no fuera porque *(a)* algunos predicados matemáticos básicos, especialmente la relación de pertenencia, no están definidos como conjuntos y *(b)* los predicados coextensivos no son necesariamente cointensivos ni tienen el mismo significado. En consecuencia, los extensionalistas pueden «condenar la noción de atributo» (Quine, 1963) sin ser capaces de prescindir de ella, tanto como los victorianos condenaban el sexo y, a la vez, lo practicaban.

Si el extensionalismo no funciona, tampoco lo hace su interpretación ontológica, vale decir, la reducción del mundo a una colección de individuos carentes de propiedades. Por una parte, esta ontología no puede explicar lo que hace que un individuo sea diferente de los demás: carece de un *principium individuationis*. Por otra, el nominalismo comete el pecado de reificación o transformación de todo en cosas o colecciones de cosas. (La reificación, una constante del pensamiento arcaico, se encuentra ocasionalmente entre los científicos y los filósofos. Así pues, los materialistas vulgares del siglo XIX sostenían que el mundo se componía de cosas de dos clases, *Stoff*, o sustancia, y *Kraft*, o fuerza. Más tarde, los energetistas, quienes deseaban desmaterializar el mundo, anunciaron que todo es una manifestación de energía. Y en la actualidad, los seguidores de Whitehead sostienen que las cosas no existen, que sólo hay acontecimientos). Por estas dos razones, el nominalismo no concuerda con la ciencia, la cual juzga que las cosas son individuos que poseen propiedades y considera básica la noción de propiedad, tanto es así que entiende que todo enunciado legal representa una relación invariante entre las propiedades de ciertas cosas.

Propondremos una interpretación de la noción de propiedad que evita los extremos del nominalismo (o sustancialismo) y el platonismo (o formismo), además de lo cual se ajusta al concepto científico.

1. Propiedad y atributo

1.1. Diferencia entre propiedad y atributo

Todos los objetos poseen propiedades. Si son objetos conceptuales o formales, sus propiedades se llamarán *propiedades formales* o, de manera abreviada, *atributos* o *predicados*. Si los objetos son individuos sustanciales, sus propiedades se llamarán *propiedades sustanciales* o, de forma abreviada, *propiedades*. Dado que los modelos de los individuos sustanciales se construyen con conceptos, tales modelos contienen atributos o predicados y, en la medida que representen individuos sustanciales, algunos de esos atributos o predicados representarán propiedades sustanciales.

En el caso de un objeto conceptual, tal como un conjunto o una teoría, las palabras 'atributo' y 'propiedad' son intercambiables, porque un objeto conceptual posee todas las propiedades que le atribuimos de manera coherente. Pero en el caso de un individuo sustancial, debemos distinguir una propiedad sustancial, o rasgo objetivo, de los correspondientes atributos (si los hay). Una propiedad sustancial [o concreta] es un rasgo que posee un individuo sustancial [o concreto], aun si no la conocemos. En cambio, un atributo o predicado es un rasgo que asignamos o atribuimos a un objeto: es un concepto. Un predicado puede conceptuar o representar una propiedad concreta, pero también puede no representarla o hacerlo mal, vale decir, con un gran margen de error. En cambio, la posesión de una propiedad no es una cuestión de verdad o falsedad; sólo nuestro conocimiento de las propiedades puede ser más o menos verdadero o adecuado. Por esta razón, distinguimos

⌜El individuo sustancial *b posee* la propiedad *P*⌝

de

⌜El atributo *A* es *válido* con respecto a *b*⌝
o ⌜*A* es *verdadero* de *b*⌝ o ⌜$\mathcal{V}(Ab) = 1$⌝,

proposiciones en las que *A* representa a *P*. Nuevamente: mientras que la posesión (o la adquisición o la pérdida) de una propiedad por un individuo sustancial es un hecho, a menudo más allá de nuestro alcance, nuestra atribución de una propiedad (por medio de un predicado) es un acto cognitivo. En otras palabras, pese a que controlamos todos los predicados, porque los construimos, sólo controlamos algunas propiedades.

De más está decir que el idealismo no admite esta diferencia entre atributos y propiedades concretas: en esta filosofía la adquisición de una propiedad coincide con su atribución. (Lo cual constituye la razón de que la falta de adecuación de esta filosofía casi no se advierta en el ámbito de las ciencias formales). Extrañamente, el realismo ingenuo, aunque reconoce la diferencia entre atributos y propiedades concretas, afirma su correspondencia uno a uno. Por consiguiente, la posición de dos polos de la filosofía respecto de la teoría de las propiedades es bastante cercana: mientras que el idealismo afirma que la teoría es la lógica de los predicados, el realismo ingenuo es una interpretación ontológica o modelo ontológico del cálculo de predicados.

Procederemos a abordar este tema desde el punto de vista de nuestra semántica (Volúmenes 1 y 2).

1.2. Correspondencia atributo-propiedad

Sin duda, conocemos las propiedades como atributos o predicados, es decir, como componentes de nuestras concepciones sobre las cosas. Con todo, si deseamos explicar el descubrimiento (o la invención) y la ignorancia, la verdad y el error, debemos distinguir entre el objeto representado y sus representaciones. Lo haremos formulando enunciados de la forma

⌜El atributo *A representa* la propiedad sustancial *P*⌝,
o, de forma abreviada, ⌜$A \triangleq P$⌝.

Por ejemplo, en diferentes contextos, los ángulos representan inclinaciones, probabilidades, tendencias y densidades, entre otras cosas. La correspondencia atributo-propiedad es un caso particular de la relación conocimiento-realidad o mente-mundo. Esta correspondencia no es isomórfica porque algunos atributos no representan propiedades concretas, otros representan diversas propiedades y, finalmente, algunas propiedades no son representadas por atributo alguno (porque ignoramos una, otro o ambos) o son representadas por varios atributos (a menudo pertenecientes a teorías diferentes acerca de la misma clase de cosas).

La relación entre propiedades y atributos se puede interpretar del modo siguiente. Sea $\mathbb{P}$ el conjunto de propiedades concretas y $\mathbb{A}$ el de los atributos o predicados. Luego, la representación de las propiedades por los atributos es una función $\rho\colon \mathbb{P} \to 2^{\mathbb{A}}$ que asigna a cada propiedad P de $\mathbb{P}$ una colección $\rho(P) \in 2^{\mathbb{A}}$ de atributos, de modo tal que la fórmula '$A \in \rho(P)$', para A de $\mathbb{A}$ y P de $\mathbb{P}$, se interpreta como *el atributo A representa la propiedad P* o, de forma abreviada, $A \mathrel{\hat{=}} P$. Los detalles sobre los conceptos de atributo (o predicado) y representación pueden consultarse en el Capítulo 3 del Volumen 1 y en el Capítulo 6 del Volumen 2 de este tratado.

La función de representación es una correspondencia entre un subconjunto propio de todos los atributos (predicados) concebibles y el conjunto mal definido de todas la propiedades sustanciales (conocidas y desconocidas). En otras palabras, hay atributos que no tienen correlato óntico. Entre ellos encontramos la pertenencia a un conjunto, los atributos negativos y los disyuntivos. Ocupémonos de estos tres, ya que pondrán de manifiesto lo que una propiedad no es. Primero la cuestión de la pertenencia. En matemática, es posible asignar el atributo de pertenencia a un conjunto arbitrario (pero bien definido) a todo miembro de ese conjunto. Sin embargo, ser un elemento de un conjunto arbitrario no cuenta como propiedad sustancial. Por ejemplo, aunque puedo decidir agrupar mis zapatos con las últimas declaraciones del presidente X, esa pertenencia común no constituye una propiedad objetiva compartida por ambos elementos. En pocas palabras, no todo conjunto es una clase.

Tampoco existen, pese a unos cuantos reconocidos filósofos [por ejemplo, Bolzano, (1851, Sección 39) y Russell (1918, Secciones I y III)], propiedades «negativas» poseídas por elementos fácticos, tales como las cosas o los sucesos. Estos sólo tienen propiedades «positivas» (Bunge, 1974g). En el enunciado ⌜Los neutrones no tienen carga eléctrica⌝ la negación afecta toda la proposición ⌜Los neutrones tienen carga eléctrica⌝: niega este enunciado, no atribuye a los neutrones la propiedad negativa de no tener carga y mucho menos la de tener una anticarga. No hay duda de que para comprender la realidad, discutir sobre ella y todo lo demás necesitamos la negación, pero la realidad externa sólo tiene características positivas. En otras palabras, aun cuando una proposición de la forma ⌜ *Ab*⌝ sea verdadera e indistinguible de la proposición $\ulcorner(\ A)b\urcorner$, no puede existir ninguna propiedad real o sustancial que sea representada por el atributo negativo $\ A$ y ejemplificada por b. En consecuencia, si el atributo A representa la propiedad concreta P (vale decir, $A \triangleq P$), podemos aceptar la condición de verdad (suficiente para los atributos cualitativos)

$$\ulcorner\ Ab\urcorner \text{ es verdadera si y sólo si } b \text{ no posee } P,$$

pero no

$$\ulcorner\ Ab\urcorner \text{ es verdadera si y sólo si } b \text{ posee } \urcorner P.$$

En resumen, la negación es *de dicto*, pero no *de re*: está definida sobre el conjunto $\mathbb{A}$ de los atributos, no sobre el conjunto $\mathbb{P}$ de las propiedades. Y puesto que no hay propiedades negativas, tampoco hay propiedades sustanciales tautológicas ni contradictorias correspondientes a los atributos tautológicos o contradictorios, tales como $A \vee\ A$ o $A \,\&\ A$ respectivamente.

Asimismo, no hay atributos disyuntivos con correlato óntico. Por ejemplo, ningún individuo concreto posee la propiedad de ser pesado *o* traslúcido, aun cuando la proposición ⌜Las puertas de plexiglás son pesadas o traslúcidas⌝ sea verdadera. (En otras palabras, utilizamos el atributo disyuntivo «pesadas o traslúcidas» pero no le pedimos que represente una propiedad de ningún individuo sustancial). En cambio, ciertas propiedades sí pueden combinarse. Por ejemplo, hay cosas que son pesadas y, a la vez, capaces de sintetizar clorofila. (Pero, desde luego, otras propiedades son mutuamente incompatibles, es decir, no pueden combinarse). El significado de la expresión 'conjunción de propiedades' se verá en la Sección 3.4.

Aunque puedan parecer bizantinas, las reflexiones anteriores son necesarias para la construcción de una teoría de las propiedades y tienen consecuencias filosóficas de gran alcance. La primera consecuencia de la ausencia de isomorfismo entre las propiedades y los atributos es la ruina del realismo ingenuo en su modalidad de teoría del conocimiento como reflejo, así como en la de teoría figurativa [de la imagen] del lenguaje. Según estas perspectivas, toda proposición fácticamente verdadera refleja un hecho. Pero si sólo admitimos propiedades «positivas» debemos excluir los hechos negativos. Y si no admitimos las propiedades disyuntivas tenemos que descartar los hechos disyuntivos y, con mayor razón, los hechos generales. Por supuesto, admitimos las proposiciones negativas y disyuntivas en la medida que sean lo bastante verdaderas –o, por lo menos, prometedoras–, pero eso nada tiene que ver con aceptar la existencia de hechos negativos o disyuntivos. En consecuencia, «No hay elefantes en tu bolsillo» es una proposición verdadera precisamente porque no representa una situación en la que haya elefantes en el bolsillo del lector. (En cambio, el realismo ingenuo nos pediría que interpretásemos este enunciado del siguiente modo: «Todo es un no elefante o bien no está situado en tu bolsillo»). Por último, pero no por ello menos importante, la brecha atributo-propiedad bloquea todo intento de interpretar el cálculo de predicados en términos ontológicos, vale decir, de conseguir una teoría de las propiedades sin esfuerzo. Por consiguiente, debemos intentar la construcción de un cálculo de propiedades que sea distinto del cálculo de predicados. Manos a la obra.

2. Análisis

2.1. Propiedad en general y propiedad de un particular

Las expresiones 'formas puras', 'sistema de cualidades en sí' e incluso 'propiedad' no tienen sentido salvo como abreviaciones o abstracciones. De hecho, un análisis matemático y semántico del concepto de propiedad nos mostrará, en unos momentos, que toda propiedad es poseída por algún individuo (con la salvedad de la propiedad nula, la cual consiste, desde luego, en una ficción). No hay propiedades que no estén apareadas con algún individuo. En particular, las propiedades sustanciales son propiedades de individuos sustanciales.

En otras palabras, un atributo sólo se puede atribuir o predicar de algún objeto. Una bola de nieve es blanca: se puede predicar la blancura de las bolas de nieve y de otras cosas, pero la blancura no existe separada de las cosas, no más de lo que las bolas de nieve «no participan» de la blancura, si caemos en la jerga platónica. En otras palabras, no existen los universales en sí mismos, sino que hay propiedades que son universales en un conjunto dado de individuos, vale decir, que todos los individuos del conjunto comparten. (Más sobre los universales en la Sección 5.3). Todo esto es bastante obvio a partir del modo en que la ciencia trata con las propiedades y de la forma en que la semántica analiza los predicados. En ambos casos, toda propiedad es representada por una función que aplica individuos (o n-tuplas de individuos) a enunciados de la forma ⌜El individuo (o la n-tupla) x se asigna al atributo A⌝. Llamaremos *atributos* o *predicados* a estas funciones proposicionales o funciones cuyos valores son proposiciones.

Ejemplo 1 La propiedad de saber leer puede representarse como una función R_1 que aplica el conjunto H de los seres humanos al conjunto P_1 de las proposiciones que contienen el predicado R_1:

R_1: $H \rightarrow P_1$, donde $R_1(b)$, para $b \in H$, abrevia «b sabe leer», un miembro del conjunto P_1.

Ejemplo 2 La propiedad de saber leer libros se puede representar mediante la función R_2 que aplica el conjunto de parejas $\langle x, y \rangle$, con $x \in H$ e $y \in B$, donde H = seres humanos y B = libros:

R_2: $H \times B \rightarrow P_2$, donde $R_2(b, c)$, para $b \in H$ y $c \in B$, abrevia «b sabe leer c», un miembro de P_2.

Ejemplo 3 Se puede asociar una función matemática arbitraria f, con dominio D y recorrido R, a la función proposicional

$$F: D \times R \rightarrow P_3, \text{ tal que } F(x, y) = [f(x) = y] \in P_3 \text{ para } x \in D \text{ e } y \in R.$$

En ontología, nos interesan las propiedades de entidades, es decir, los miembros del conjunto S de individuos sustanciales caracterizados en el Capítulo 1. Una propiedad sustancial debe ser representable como una función proposicional –o predicado– sobre un dominio que, de algún modo, incluye a S. La función representará la propiedad en general, por ejemplo la edad, y su valor para un individuo en particular la propiedad determinada del individuo de interés, por ejemplo su edad. Pero es probable que en el dominio del predicado también aparezcan conjuntos diferentes de S. Por ejemplo, la masa es representable mediante cierta función de variable real M sobre el conjunto de las cuaternas ⟨cuerpo, marco de referencia, tiempo, unidad de masa⟩. En símbolos,

$$\ulcorner M: B \times F \times T \times U_M \times \mathbb{R} \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } M \urcorner$$

representa la masa de las entidades $B \subset S$, mientras que el valor ⌜$M(b, f, t, u, r)$⌝ representa la masa $r \in \mathbb{R}$ de un cuerpo particular $b \in B$ relativa a un marco de referencia $f \in F$, en el tiempo $t \in T$, calculado o medido en unidades de masa $u \in U_M$ (por ejemplo, gramos o libras).

Generalizaremos las reflexiones anteriores mediante la introducción del siguiente axioma de naturaleza metodológica:

POSTULADO 2.1 Sea S el conjunto de individuos sustanciales o un subconjunto de estos y sean T a Z conjuntos arbitrarios no vacíos, iguales o diferentes a S. Luego,

(i) toda *propiedad sustancial en general* es representable mediante un predicado (o función proposicional) de la forma

$$A: S \times T \times \ldots \times Z \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } A;$$

(ii) toda *propiedad sustancial individual* o propiedad de un individuo concreto en particular $s \in S$, puede representarse como el valor de un atributo en s, vale decir, como $A(s, t, \ldots, z)$, donde $t \in T, \ldots, z \in Z$.

Toda propiedad individual, o propiedad de un individuo concreto particular, es *dicotómica* en el sentido de que el individuo bien la posee o bien no la posee. Esto no sólo vale para las cualidades y las propiedades cuantitativas que asumen valores numéricos definidos, sino también para toda cantidad cuyo recorrido sea una familia de intervalos, como en el caso de las variables dinámicas de la mecánica cuántica. En consecuencia, en una expresión de la forma $\ulcorner A(s, t, \ldots y) = z \urcorner$, carece de importancia para nuestros fines el que z sea un único número (o una n-tupla de números) o un conjunto íntegro de números (o una n-tupla de intervalos numéricos). En cada uno de estos casos, sea puntual o sea extendido, un individuo o conjunto z representará una propiedad del individuo s.

Las propiedades, en consecuencia, pueden atribuirse a –o predicarse de– los individuos de alguna clase. No hay propiedades concretas escindidas de las entidades, mucho menos anteriores a ellas y morando en un reino de las formas separadas: una forma es una forma (propiedad) de un trozo de sustancia, un universal es una propiedad que poseen todos los individuos concretos de un subconjunto dado de S. Las formas carentes de sustrato o universales platónicos son tan imaginarias como las sustancias sin forma. Pero la ficción del individuo indiferenciado por lo menos tiene sentido matemático mientras que la de la forma pura no lo tiene. (El individuo más indiferenciado puede caracterizarse como miembro de un conjunto, pero la más simple de las formas requiere un soporte o dominio, porque se trata de una función).

Una entidad posee ciertas propiedades, pero no *es* un manojo de propiedades. El que la entidad b posea las propiedades $P_1, P_2, \ldots, P_n$, … no implica que $b = \{P_1, P_2, \ldots, P_n, \ldots\}$. De lo contrario, tendríamos que definir las propiedades de manera independiente de todo individuo y admitir expresiones absurdas tales como "$\{P_1, P_2, \ldots, P_n, \ldots\}$ posee P_1".

Ejemplo 1 Un corpúsculo no es un compuesto de masa, posición y velocidad, sino una entidad que posee valores de masa, de posición y de velocidad precisos. (Esta terna es sólo un esquema de tal entidad. Recuérdese la Sección 3.1, Capítulo 3, del Volumen 1).

Ejemplo 2 El poseer cierto pensamiento es una propiedad de algunos animales en ciertos momentos y, como tal, puede representarse por medio de una función del conjunto de instantes sobre el producto cartesiano del conjunto de los animales de cierta clase. Dicho de otro modo: el que el pensamiento sea una función del cerebro implica que ni los pensamientos ni los cerebros de ciertos tipos pueden existir separadamente unos de otros. Los que sí existen son los cerebros capaces de pensar. (Más sobre el problema mente-cuerpo en el Capítulo 10 del Volumen 4).

La interpretación funcional de las propiedades resuelve una diversidad de problemas, entre ellos el antiguo acertijo biológico: ¿cuál es anterior, el órgano o la función; por ejemplo el cerebro o la ideación, el sentimiento, etc.? Respuesta: ninguno de ellos, dado que la función no es más que lo que el órgano hace. Tómese por ejemplo la proposición ⌜La función de los orgánulos de tipo *A* es sintetizar proteínas de tipo B⌝. Este enunciado puede resumirse así: ⌜Todos los orgánulos de tipo *A* sintetizan alguna proteína B⌝. Éste no contiene la sospechosa noción de función biológica, que huele a propósito, ni afirma que la síntesis de *B* sea la única función de un *A*. El segundo enunciado exhibe claramente la idea de que la función en cuestión es una relación entre orgánulos y proteínas: la relación de síntesis, que puede interpretarse como una función que aplica el conjunto $A \times B$ de pares orgánulo-proteína a ciertas proposiciones. De este modo, la extraña idea de que podría haber una función biológica independiente de un órgano o de su producto desaparece.

2.2. Intrínsecas y mutuas, primarias y secundarias

Algunas propiedades, tales como la radiactividad y la inteligencia, son propiedades inherentes a los individuos. Por consiguiente, en ocasiones podemos representarlas por medio de atributos unarios:

$$Rad\text{: Átomos} \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } Rad$$
$$Int\text{: Personas} \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } Int.$$

Llamaremos *intrínsecas* a estas propiedades. Otras propiedades, tales como la solubilidad y el rendimiento, son propiedades de pares o, en general, de n-tuplas de individuos concretos. De manera correspondiente, las representamos por medio de predicados de categoría 2 o superior, tales como

$$Sol\text{: Solutos} \times \text{Solventes} \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } Sol$$
$$Rend\text{: Personas} \times \text{Circunstancias} \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } Rend.$$

Llamaremos a estas propiedades *mutuas* o *relacionales*.

Todas las propiedades mutuas deben representarse mediante predicados de categoría superior a uno, pero la inversa es falsa. O sea, algunos predicados n-arios, con $n > 1$, representan propiedades intrínsecas. Por ejemplo, el producto interno bruto, que es una propiedad intrínseca, puede representarse por medio de un predicado de la forma

$$PIB: N \times T \times U \times Q^{+} \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } PIB,$$

en el cual N es la familia de las naciones, T el conjunto de los años, U el conjunto de las unidades de producción (por ejemplo, dólares) y Q^{+} es el conjunto de las fracciones positivas. En la determinación de la n-aridad de una propiedad, lo que cuenta es el número de conjuntos de individuos que aparecen en el dominio del predicado correspondiente.

Una propiedad mutua o relacional perteneciente a una entidad puede depender causalmente de otro individuo o no. Por ejemplo, la velocidad es una propiedad mutua, ya que depende tanto de la entidad en movimiento como del marco de referencia, pero este último no causa esa propiedad. Lo mismo ocurre con la distancia, la duración, la frecuencia, la masa, la temperatura, la intensidad del campo eléctrico y muchas otras propiedades descubiertas por la física relativista: dependen del marco de referencia, pero no son causalmente dependientes de éste, el cual se supone que es pasivo. En cambio, ciertas propiedades mutuas dependen del entorno o ambiente. Tal es el caso de la fuerza que se ejerce sobre un cuerpo, la posición y la distribución del impulso lineal de un microsistema, la solubilidad, la frecuencia del canto de un grillo, el rendimiento de un estudiante y la tasa de producción de manufacturas: en todos estos casos, el entorno ejerce cierta influencia sobre la entidad de interés. Todas las propiedades fenoménicas, tales como el color y la sonoridad percibida, son propiedades mutuas de esta clase, vale decir, que no dependen solamente del objeto-en-el-entorno, sino también del sujeto o perceptor. Más sobre esto a continuación.

[La forma de averiguar si una propiedad dada es absoluta (o invariante o independiente del marco de referencia) es investigar su comportamiento en diferentes marcos de referencia, por ejemplo en desplazamientos o rotaciones. Si el atributo en cuestión no cambia con una transformación dada, se lo declara *invariante* respecto de ésta (o invariante de todo el grupo de transformaciones). Este procedimiento establece o refuta la hipótesis de invariancia relativa, es decir, de absolutidad respecto de un grupo dado de transformaciones. Puesto que no hay ninguna forma de averiguar si una propiedad dada es invariante con respecto a un grupo arbitrario de transformaciones, no hay invariancia absoluta (o absolutidad). En otras palabras, *toda invariancia es relativa*].

Dado que las propiedades fenoménicas dependen del sujeto, dependen, con mayor razón, del marco de referencia. (En efecto, un ser sensible se puede considerar como un marco de referencia). La inversa no es válida; es decir, no toda propiedad dependiente de un marco de referencia es dependiente de un sujeto o subjetiva. Por ejemplo, la frecuencia de una oscilación es dependiente del marco de referencia, pero no de un sujeto. En caso de dudas acerca del carácter objetivo de una propiedad, intercámbiense los sujetos (u observadores), experimentalmente o bien en las fórmulas teóricas, y obsérvese si los valores de la propiedad cambian. Si no lo hacen, la propiedad es objetiva, además de ser relacional. Fuera de la psicología, se supone que todas las propiedades –sean intrínsecas, sean mutuas– son objetivas, vale decir, independientes del observador. Con esto solo y, en particular, con la existencia de propiedades invariantes (tales como la carga eléctrica, la entropía y el número de entidades), la ontología subjetivista queda desacreditada a los ojos de la ciencia. En otras palabras, una metafísica científica debe ser tan objetivista como la propia ciencia, es decir, completamente.

Una ontología científica no descartará las propiedades fenoménicas o secundarias, tales como el color y la sonoridad, sino que intentará explicarlas en términos de propiedades no fenoménicas o primarias. Independientemente de cuál resulte ser la explicación precisa del fenómeno, debe apoyarse en la interpretación de las propiedades secundarias como propiedades mutuas, con por lo menos uno de sus pilares en los organismos sensibles. Por ejemplo, el color es la longitud de onda percibida por un sujeto, la sonoridad es la intensidad sonora según la siente un sujeto y la calidez es el calor percibido. Sin organismos sensibles no hay propiedades secundarias. Por consiguiente, los predicados de color pueden representarse como ciertas funciones aplicadas al producto cartesiano del conjunto de las señales luminosas por el conjunto de los organismos dotados de vista. Los demás predicados fenoménicos (vale decir, los predicados que representan propiedades secundarias) son similares.

Los físicos suponen que hay ondas sonoras que nadie oye y ondas luminosas que nadie ve. Y los psicólogos saben que puede haber sensaciones acústicas y visuales sin que haya habido estímulos físicos en ese momento dado. En consecuencia, parecería que ni las cualidades primarias son necesarias para las respectivas cualidades secundarias, ni viceversa. Sin embargo, si no hubiera percepciones normales no habría ilusiones sensoriales: los psicólogos suponen de manera tácita que un organismo privado completamente de su sistema auditivo no experimenta ilusiones auditivas y que lo mismo ocurre con otras clases de sensaciones. Por consiguiente, las ondas sonoras son necesarias para la audición –en el caso normal, como causas inmediatas; en el caso anormal, como estímulo de experiencias pasadas (desde el punto de vista ontogénico, filogenético o de ambos)–. Por tanto, diremos que el volumen acústico es la *base* de la sonoridad, la luminosidad es la *base* de la brillantez y así sucesivamente, aun cuando no toda sensación sea causada de manera inmediata por un estímulo físico dotado de la correspondiente capacidad de ser la base. Esta perspectiva se remonta a Locke (1689, Capítulo II, Libro VIII).

Las reflexiones anteriores resultan absurdas para el fenomenismo, el operacionismo y el subjetivismo: según estas filosofías, todas las propiedades son secundarias. Pero, desde luego, la ciencia natural desde Galileo sólo reconoce las propiedades primarias, además de lo cual su progreso ha consistido, en parte, en desplazar las propiedades secundarias al campo de la psicología. Adviértase, finalmente, que nuestra perspectiva sobre las cualidades secundarias no es puramente objetiva ni tampoco puramente subjetiva, ya que eso que las posee es la interfaz sujeto/objeto y no alguno de los componentes por separado. Éste es el motivo de que las cualidades secundarias se interpreten como propiedades mutuas de entidades y organismos sensibles.

Podemos resumir esta subsección en el siguiente axioma metodológico, que describe en detalle el Postulado 2.1:

POSTULADO 2.2 Sea $\{S_i \subseteq S \mid 1 \leqslant i \leqslant n\}$ una familia de subconjuntos no vacíos de individuos sustanciales que no incluyen al individuo nulo. Además, sean T a Z conjuntos no vacíos arbitrarios (de, por ejemplo, unidades), iguales o diferentes de los S_i. Por último, sean $\mathbb{R}$ un conjunto de números o de conjuntos de números (tal como el conjunto potencia de la recta real) y p un número natural. Luego

(i) toda *propiedad cualitativa intrínseca* (cualidad) de los S_i puede representarse mediante atributos de la forma

$$A: S_i \times T \times \ldots \times Z \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } A;$$

(ii) toda *propiedad cualitativa mutua* de los S_i para $1 \leqslant i \leqslant m \leqslant n$, puede representarse mediante atributos de la forma

$$A: S_1 \times S_2 \times \ldots \times S_m \times T \times \ldots \times Z \rightarrow \text{Proposiciones que incluyen } A;$$

(iii) toda *propiedad cualitativa fenoménica* (secundaria) es una propiedad cualitativa mutua que se puede representar mediante un predicado del tipo (ii), donde T = Conjunto de los seres sensibles;

(iv) toda *propiedad cuantitativa intrínseca* de los S_i puede representarse mediante atributos (magnitudes, cantidades, variables) de tipo (i) donde $Z = \mathbb{R}^p$;

(v) toda *propiedad cuantitativa mutua* de los S_i para $1 \leqslant i \leqslant m \leqslant n$ puede representarse mediante atributos (magnitudes, cantidades, variables) de tipo (ii), donde $Z = \mathbb{R}^p$;

(vi) toda *propiedad cuantitativa fenoménica* (secundaria) es una propiedad cuantitativa mutua que se puede representar mediante un predicado de tipo (v), con T = Conjunto de organismos sensibles;

(vii) toda *propiedad de un individuo* (o propiedad individual) ${}^{i}b$ de tipo S_i, se puede representar mediante el valor del respectivo atributo en ${}^{i}b$ y toda *propiedad de una agregación de m individuos* ${}^{1}b + {}^{2}b + \ldots + {}^{m}b$, donde ${}^{i}b \in S_i$, se puede representar mediante el valor del respectivo atributo *n*-ario en $\langle {}^{1}b, {}^{2}b, \ldots, {}^{m}b \rangle$.

Podría pensarse que algunas de las distinciones anteriores, si no todas ellas, son superficiales o arbitrarias. En particular, podría sostenerse que todas las propiedades individuales, sean cualitativas, sean cuantitativas, se pueden representar mediante atributos dicotómicos (o de presencia-ausencia). Por consiguiente, tanto «está casada» como «tiene 25 años de edad» son atributos dicotómicos, en el sentido de que o bien son verdaderos o bien son falsos respecto de un individuo dado. Pero lo importante es que, mientras que estar casada es una propiedad cualitativa que no admite gradación, la edad sí es cuestión de grado. Lo cierto es que el progreso científico trae con él la cuantificación de diversos atributos que, con anterioridad, se habían considerado inherentemente dicotómicos.

Se podría pensar, asimismo, que dado que todas las relaciones son reducibles a relaciones binarias (Quine, 1954), la *n*-aridad de un predicado no es importante. Bien podría ser éste el caso, pero no es necesario considerar que esa reducción lógica refleja algo de la realidad. Nuestro planeta no dejaría de girar alrededor del Sol, entre Mercurio y Saturno, en el instante en que se probara que las relaciones ternarias son reducibles. Además, esa reducción no vale para las relaciones más útiles de todas: las funciones. En consecuencia, por lo general, una función de dos variables no es reducible a dos funciones de una variable cada una (vale decir, a dos funciones diádicas).

Tampoco funciona la táctica opuesta, o sea, la de aumentar el orden de los predicados por motivos filosóficos. Este ardid fue intentado por Helmholtz (1873, p. 260), quien sostenía que «en realidad, toda cualidad o propiedad de una cosa no es más que su capacidad de ejercer ciertos efectos sobre otras cosas». De igual modo, Ducasse (1968) afirmaba que toda propiedad consiste en el poder causal de producir un efecto. Esta opinión se apoya en la confusión operacionista entre una propiedad y el modo en que la ponemos a prueba. Sin duda, una propiedad que no influye en nada no puede observarse ni siquiera de manera indirecta y, en consecuencia, no se puede decir que la entidad de interés la posea. Pero si la teoría científica interpreta una propiedad dada como un predicado *n*-ario, nuestra metafísica no tiene derecho a «interpretarla» como una propiedad (*n*+1)-aria.

3. Teoría

3.1. Unarización y dicotomización

Hasta aquí hemos hecho sólo unos pocos comentarios informales acerca de las propiedades y hemos analizado la forma en que se las puede representar mediante predicados. En esta sección formularemos supuestos ontológicos explícitos encarnados en una teoría general de las propiedades y sus alcances, vale decir, sus tipos. Dada la variedad de propiedades (intrínsecas y mutuas, cualitativas y cuantitativas, primarias y secundarias) sería razonable preguntarse si semejante tarea es factible. Por fortuna, podemos introducir una notable uniformidad y, en consecuencia, allanar el camino para la búsqueda de la estructura mediante la utilización de dos artilugios. Uno de ellos es el reemplazo de toda propiedad mutua por un grupo de propiedades intrínsecas, el otro consiste en concentrarse en las propiedades individuales intrínsecas. El resultado final, en cada caso, es un conjunto de predicados unarios dicotómicos, cada uno de los cuales es verdadero o falso respecto de un individuo sustancial dado. Un par de ejemplos mostrará cómo proceder en general.

Considérese la propiedad de caer. En el conocimiento común, ésta se representa mediante un predicado unario. En ciencia, la caída se analiza mediante un predicado binario F, tal que "Fxy" se interpreta como «F cae sobre y». Ahora podemos congelar el segundo argumento, es decir, podemos dar por sentado que, sea lo que fuere, lo que cae lo hace sobre un cuerpo fijo b tal como nuestro planeta. O sea, podemos formular el predicado *seudounario* F_b, tal que

$$F_b x = x \text{ cae sobre } b.$$

Si ahora cambiamos el valor del parámetro, por ejemplo a $c \neq b$, obtenemos otro predicado, a saber F_c, tal que $F_c y = y$ cae sobre c. De esta manera, *el predicado binario único F es reemplazado por un conjunto infinito de predicados unarios* F_z. (No hay retorno, por consiguiente, a la inocencia original del conocimiento común). Desde luego, no hay nada de economía en el procedimiento de unarización: se trata únicamente de un truco que nos permite hablar, aunque más extensamente, de toda propiedad de un individuo *como si* ésta fuera intrínseca. En consecuencia, no tiene nada que ver ni con la tentativa de Bradley de eliminar las relaciones a favor de los predicados monádicos o «relaciones internas» (Bradley,1893), ni con la afirmación todavía más extraña de que una relación binaria se puede considerar compuesta de tres partes separadas: una flecha de salida, una flecha de entrada y el cemento entre ellas (Harary, 1971).

El procedimiento de unarización se puede generalizar para abarcar no sólo las propiedades mutuas de n-tuplas de individuos, sino todo tipo de propiedades complejas. Considérese el enunciado

⌜El cuerpo *a* tira del cuerpo *b* en el momento *t*, relativamente al marco de referencia *f*, con fuerza *p* en unidades de fuerza *u*⌝,

o, de forma abreviada, ⌜$P(a, b, t, f, u, p)$⌝. El predicado cuantitativo de 6º orden P representa la propiedad de tirar, y uno cualquiera de sus valores representa la propiedad individual de una cosa dada que tira de otra con una fuerza fija relativamente a un marco de referencia en un momento dado. Al centrarnos en el agente a, fabricamos un predicado P_{btfup} para cada circunstancia $\langle b, t, f, u, p\rangle$, tal que

$P_{btfup}(a)$ = *a* tira [de *b* en el momento *t*, relativamente al marco de referencia *f*, con fuerza *p*, en unidades *u*].

Se puede considerar que cada uno de estos predicados representa una propiedad intrínseca y, además, individual, puesto que o es poseída o bien no es poseída por el correspondiente individuo sustancial, en este caso a. Dado que los conjuntos de instantes, marcos de referencia, unidades de fuerza y valores de fuerza son infinitos, el número de estos predicados unarios artificiales también lo es. Es un precio elevado y, por ello, en ciencia este intercambio no se realiza. Pero es el precio que tenemos que pagar si queremos una teoría general de las propiedades y los tipos. Procedamos, en consecuencia, estableciendo la

DEFINICIÓN 2.1 Sean $S_1, S_2, \ldots, S_n \subseteq S$, con $n > 1$, n conjuntos no vacíos de individuos sustanciales y sean $T_1, T_2, \ldots, T_m$, con $m \geqslant 0$, m conjuntos no vacíos arbitrarios. Además, sea

$$A: S_1 \times S_2 \times \ldots \times S_n \times T_1 \times T_2 \times \ldots \times T_m \to \text{Proposiciones que incluyen } A;$$

un atributo que representa una propiedad n-aria sustancial mutua de esos individuos. Luego, para cada $1 \leqslant i \leqslant n$ y para cada $(n + m - 1)$-tupla,

$$\langle x_1, x_2, \ldots, x_{i-1}, x_{i+1}, \ldots, x_n, t_1, t_2, \ldots, t_m \rangle$$
$$\in S_1 \times S_2 \times \ldots S_{i-1} \times S_{i+1} \times \ldots \times S_n \times T_1 \times T_2 \times \ldots \times T_m,$$

los *iésimos atributos unarios asociados a A* son las funciones

$$Ax_1x_2 \ldots x_{i-1}\, x_{i+1} \ldots x_n t_1 t_2 \ldots t_m(x) =$$
$$=_{df} A(x_1, x_2, \ldots, x_{i-1}, x, x_{i+1}, t_1, t_2, \ldots, t_m).$$

A partir de aquí y para lo que queda del capítulo daremos por supuesta esta unarización. Y también daremos por sentado que cuando tratamos con una propiedad, en realidad tratamos con una propiedad individual, es decir, una propiedad de un individuo sustancial. Estas dos convenciones nos permitirán introducir la

DEFINICIÓN 2.2 P es una *propiedad sustancial* (o un miembro del conjunto $\mathbb{P}$ de propiedades sustanciales) sii algunos individuos sustanciales poseen P:

$$P \in \mathbb{P} =_{df} (\exists x)\ (x \in S\ \&\ x \text{ posee } P).$$

En lo que sigue, investigaremos la estructura del conjunto $\mathbb{P}$ de las propiedades sustanciales. Que esta investigación es necesaria resulta obvio a partir del resultado de la Sección 1, vale decir, que si bien todas las propiedades pueden representarse como atributos, no todos los atributos representan propiedades sustanciales.

3.2. Supuestos y convenciones básicos

A continuación formularemos un puñado de supuestos y convenciones que nos permitirán exponer la estructura del conjunto de todas las propiedades concretas (intrínsecas y dicotómicas). [El tratamiento formal a partir de la Definición 2.5 sigue de cerca a Bunge & Sangalli (1977)].

La colección de propiedades de un individuo, así como las de un conjunto de individuos, merecen nombres especiales que en lo que sigue utilizaremos con frecuencia:

DEFINICIÓN 2.3 Sea $T \subseteq S$ un conjunto no vacío de individuos sustanciales y $\mathbb{P}$ el conjunto de propiedades sustanciales (dicotómicas unarizadas). Luego,

(i) el conjunto de *propiedades* (dicotómicas unarizadas) *del individuo* $x \in T$ se llama

$$p(x) = \{P \in \mathbb{P} \mid x \text{ posee } P\};$$

(ii) el conjunto de *propiedades* (dicotómicas unarizadas) *de los* T se llama

$$p(T) = \{P \in \mathbb{P} \mid \text{Para todo } x \in T, x \text{ posee } P\}.$$

Considérese por un momento el conjunto $p(x)$ de propiedades (dicotómicas unarizadas) de una entidad x. Dado que cada una de estas propiedades se considera en un momento dado y relativamente a un marco de referencia, cuando calculamos todos los instantes y marcos de referencia posibles nos encontramos con una infinidad no numerable de propiedades (potenciales) de x, independientemente de cuán modesto pueda ser este individuo. (Recuérdese la Sección 3.1). En cambio, parece razonable (y reconfortante) suponer que el conjunto de propiedades sustanciales en general, si bien extremadamente numeroso, es finito. Por consiguiente, pensamos que un animal tiene diferentes pesos, tasas metabólicas y edades en diferentes momentos y, sin embargo, son únicamente diferentes valores de sólo tres propiedades generales: el peso, la tasa metabólica y la edad en momentos distintos y relativamente a diferentes marcos de referencia. En todo caso, nos arriesgaremos y supondremos el

POSTULADO 2.3 El conjunto de propiedades generales concretas es finito y el de las propiedades (unarizadas y dicotomizadas) concretas individuales, vale decir, $\mathbb{P}$, es no numerable.

A continuación, aceptaremos el axioma ontológico de Aristóteles de que todo individuo posee una propiedad dada (en un aspecto y un instante dados) o bien no la posee:

POSTULADO 2.4 Para todo $x \in S$ y todo $P \in \mathbb{P}$,

$$x \text{ posee } P \vee \neg x \text{ posee } P.$$

Este axioma no debe confundirse con el principio del tercero excluido, que se refiere a los predicados. En consecuencia, un intuicionista matemático puede aceptar el primero. Por lógica, sea común o sea intuicionista, se sigue inmediatamente que ningún individuo posee una propiedad dada y, a la vez, no la tiene. O sea, no hay cosas inherentemente contradictorias: la contradicción propiamente dicha es siempre *de dicto*, nunca *de re*. Lo que sí puede haber es, desde luego, propiedades que se oponen entre sí, tales como la estimulación y la inhibición, pero éstas no ejemplifican la contradicción. Además, la adopción del Postulado 2.4 o de su corolario no descarta el cambio, en particular la adquisición o pérdida de una propiedad, porque toda propiedad que aparezca en el postulado se considera en un momento dado y en determinadas circunstancias. Esto nos conduce a la

DEFINICIÓN 2.4 Dos propiedades son *incompatibles* sobre un conjunto $T \subseteq S$ de individuos sustanciales si la posesión de una de ellas impide la posesión de la otra: si $P_1, P_2 \in \mathbb{P}$, luego

(i) P_1 es *incompatible* con P_2 sobre $T =_{df} (x)\ [x \in T \Rightarrow (x \text{ posee } P_1 \Rightarrow \neg x \text{ posee } P_2)]$;

(ii) P_1 y P_2 son mutuamente *compatibles* sobre T si no son incompatibles sobre T.

Adviértase que dos propiedades pueden ser realmente compatibles y, a pesar de ello, una entidad dada puede no poseerlas. Por ejemplo, la honradez y la riqueza son compatibles aun cuando rara vez van de la mano. (Las compatibilidades son propiedades disposicionales).

Un interesante caso de incompatibilidad de propiedades es el de los microsistemas. Según la teoría cuántica, un microsistema no tiene una localización espacial y un valor de velocidad precisos a la vez. (Las que son compatibles, más aún concomitantes, son las distribuciones de probabilidades de la posición y la cantidad de movimiento). En esta teoría hay varias propiedades (las variables dinámicas) que se representan mediante operadores, algunos de los cuales no conmutan por pares. Si A_1 y A_2 son operadores que representan propiedades mutuamente incompatibles, $A_1A_2 \neq A_2A_1$ y viceversa. Cuando éste es el caso, siempre que A_1

asume un (auto)valor preciso, su compañero A_2 exhibe un rango íntegro de valores y viceversa. Vale decir que las variables que no conmutan no poseen valores conjuntos precisos: sólo poseen distribuciones de valores, cada una de ellas con una probabilidad dada. Mal que le pese al operacionismo, éste es un rasgo objetivo de la naturaleza –en la medida que la mecánica cuántica es verdadera– y no una característica de la medición. En otras palabras, la incompatibilidad entre propiedades representadas por operadores no conmutables se verifica en el experimento, no es causada por éste (Bunge, 1967b).

A continuación, adoptaremos un *principium individuationis*:

POSTULADO 2.5 No hay dos individuos sustanciales que posean exactamente las mismas propiedades:

$$\text{Para todo} \quad x, y \in S, \quad \text{si} \quad x \neq y \quad \text{luego,} \quad p(x) \neq p(y).$$

Por contraposición, de ello se sigue que, si dos entidades poseen exactamente las mismas propiedades se trata de la misma entidad:

COROLARIO 2.1 Para todo $x, y \in S$,

$$\text{si } p(x) = p(y), \qquad \text{luego} \qquad x = y.$$

Podemos llamar a cualquiera de estas hipótesis *ley de Leibniz* (Leibniz, tercera y cuarta cartas a Clarke, en Alexander, ed., 1956). Éstas se toman la identidad en serio sin confundirla con la mera semejanza: la más mínima diferencia entre dos entidades –tal como una diferencia en posición relativa con respecto a otra entidad– tiene como resultado la distinción. Sólo en el reino de los constructos puede haber varias copias idénticas del mismo objeto, como ocurre en los casos de $a + a$ y $A \times A$. Pero incluso aquí, se puede argumentar que se trata de un único objeto que se considera de manera repetida.

Por lo habitual se sostiene que el concepto de identidad presente en la ley de Leibniz es el de *identidad contingente*, por oposición a la identidad formal. En consecuencia, se dice que un cerebro viviente es contingentemente idéntico al interior del cráneo de un animal viviente y la duplicación génica es contingentemente idéntica al desenrollarse de la doble hélice. No comprendo la supuesta diferencia entre identidad contingente y formal: puesto que ambos conceptos tienen exactamente las mismas propiedades, deben ser idénticos y quedar abarcados por la teoría de la identidad.

Dado que la relación de identidad es reflexiva, recuperaremos un enunciado famoso que en unas ocasiones se ha considerado un principio básico tanto de la lógica como de la ontología y, en otras, ha sido menospreciado por absurdo o, peor todavía, trivial; nos referimos al

COROLARIO 2.2 Toda entidad es idéntica a sí misma.

Algunos filósofos han afirmado que este enunciado es incompatible con el cambio. Nada de eso. Si una entidad cambia, se transforma en una entidad diferente –o en una entidad en un estado diferente– aun cuando podamos llamarle con el mismo nombre. Todo lo que el Corolario 2.2 afirma es que toda entidad conserva toda la «identidad» que pueda tener, hasta que la pierde y adquiere otra. (Advertencia: en la última oración, 'identidad' significa "colección de peculiaridades").

Nótese que la identidad y, en consecuencia, también la diferencia, son relaciones y, por lo tanto, conceptos, no hechos. Aun cuando sea cierto que un perro no es lo mismo que una estrella, no existe ninguna conexión o acoplamiento entre ellos. Vale decir, "$\neq$" no refleja ninguna relación o vínculo. En otras palabras, tanto la identidad como la diferencia son *de dicto*. Este punto (es decir, la tesis del isomorfismo entre hecho y pensamiento) constituye uno de los aspectos decisivos en los que falla el realismo ingenuo.

Una última advertencia acerca de la identidad: pese a Strawson (1959), este concepto no debe confundirse con el concepto pragmático de *identificación*. Se puede identificar erróneamente dos cosas que, en realidad, son diferentes. También se puede «identificar» un objeto como miembro de una clase dada, en cuyo caso no se usa el concepto de identidad. Por esta razón, no podemos aceptar la afirmación operacionista de que «la relación de identidad o distinción no posee más significado que el que dos objetos hayan sido identificados o distinguidos» (Yessenin-Volpin, 1970, p. 7). Primeramente, un enunciado de identidad debe ser significativo, haya sido puesto a prueba o no. (Para la relación entre significado y comprobabilidad véase la Sección 5.1, Capítulo 7, del Volumen 2).

Por último, llegamos a una convención fundamental de nuestra teoría, la

DEFINICIÓN 2.5 El *alcance* de una propiedad concreta es la colección de entidades que la poseen. En otras palabras, el alcance $\mathcal{S}$ es la función $\mathcal{S}$: $\mathbb{P} \to 2^S$ que aplica el conjunto de todas las propiedades concretas al conjunto de todos los subconjuntos de individuos concretos, tal que "$x \in \mathcal{S}(P)$", para $x \in S$ se interprete «*El individuo x posee la propiedad P*».

Por ejemplo, el alcance de la propiedad de masa es el conjunto de los cuerpos y el de la propiedad de movilidad social es el conjunto de las sociedades humanas.

Un primer uso –modesto, por cierto– de $\mathcal{S}$ está en definir la ficción llamada *propiedad nula*: N es una propiedad nula si $\mathcal{S}(N) = \varnothing$.

Adviértase la diferencia entre el alcance de una propiedad y la extensión de un predicado o atributo (cf. Volumen 2, Capítulo 9, Sección 1). Para empezar, $\mathcal{S}$ está definido sobre propiedades, no sobre predicados. Por ejemplo, la Definición 2.4(i) de la incompatibilidad de propiedades se transforma en

P_1 y P_2 son *mutuamente incompatibles* sobre
$T =_{df} \mathcal{S}(P_1) \cap \mathcal{S}(P_2) \cap T = \varnothing$.

Dada una propiedad diferente de la propiedad nula, siempre hay un conjunto no vacío de individuos que la posee, puesto que, por la Definición 2.2, una propiedad sustancial es una propiedad poseída por al menos un individuo sustancial. Véase la Figura 2.1. Pero la inversa es falsa: no es necesario que una colección arbitraria de objetos comparta una propiedad dada. Cuando lo hacen y ningún objeto fuera de esa colección posee la propiedad de interés, el conjunto se llama clase:

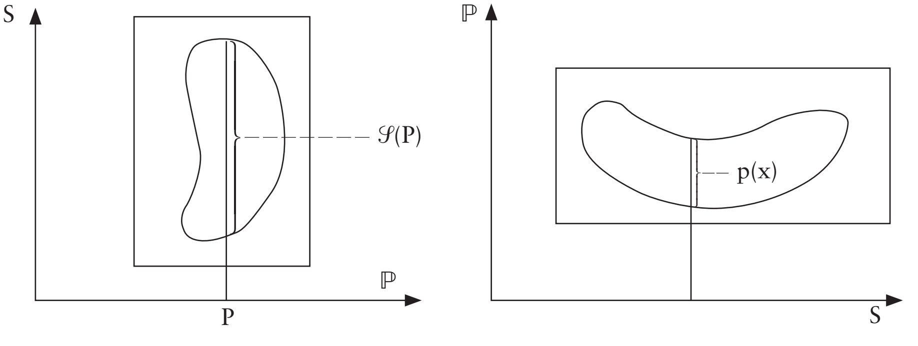


Figura 2.1. Dos conceptos complementarios: el alcance de una propiedad y el conjunto de propiedades de un individuo.

DEFINICIÓN 2.6 Un subconjunto X de S se llama *clase* (de individuos sustanciales) si existe una propiedad sustancial $P \in \mathbb{P}$ tal que $X = \mathcal{S}(P) \in 2^S$.

Dado que todos los individuos sustanciales pueden asociarse (Capítulo 1), S forma una clase; en realidad, se trata de la clase más amplia de todas las clases que estudia la ontología, vale decir, su universo de discurso.

Nuestro siguiente supuesto es el

POSTULADO 2.6 La intersección de dos clases cualesquiera es una clase: para dos propiedades concretas compatibles cualesquiera $P, Q \in \mathbb{P}$, hay al menos otra propiedad $R \in \mathbb{P}$, tal que $\mathcal{S}(R) = \mathcal{S}(P) \cap \mathcal{S}(Q)$.

Adviértase que no es necesario que la tercera propiedad, determinada por dos propiedades dadas cualesquiera, sea única. De hecho, podría haber una cuarta propiedad con el mismo alcance que R. Segundo, si P y Q son mutuamente incompatibles sobre cierto dominio de individuos, determinan una clase vacía. Tercero, el supuesto anterior no es necesario para los atributos o predicados, porque si A y B son atributos con dominios superpuestos, su conjunción $A \& B$ existe sobre su superposición y determina un conjunto, a saber, la extensión del predicado compuesto $A \& B$. Pero todavía no sabemos cuál podría ser la conjunción de propiedades, por lo cual el postulado anterior no es trivial. Cuarto, no afirmamos que la unión de dos clases sea una clase, ya que esto sería indudablemente falso en el caso particular en el que las clases son clases naturales: piénsese en el conjunto (no en la clase) igual a la unión de la clase de las nubes y la clase de las moscas.

Suficiente acerca de las propiedades en general. A continuación estudiaremos una clase particular de propiedades: las leyes.

3.3. Las leyes como propiedades

Por lo que respecta al Postulado 2.6, todas las clases podrían ser disjuntas de a pares [*disjoint pairwise*]. Nuestro último supuesto negará esa posibilidad, es decir, afirmará que algunos pares de clases se superponen y, además, que algunos están contenidos en otros. En otras palabras, supondremos que todas las entidades cumplen alguna ley o, lo que es lo mismo, que toda propiedad sustancial está relacionada legalmente con otra propiedad sustancial. Para formular esta idea con precisión necesitamos la

DEFINICIÓN 2.7 Si $P, Q \in \mathbb{P}$ son propiedades sustanciales, el enunciado $\ulcorner \mathcal{S}(P) \subseteq \mathcal{S}(Q) \urcorner$ o su inversa o, de manera equivalente,

$$(x)Lx \text{ con } Lx = \ulcorner x \text{ posee } P \Rightarrow x \text{ posee } Q \urcorner \text{ o su inversa}$$

se llama *enunciado legal* que relaciona P con Q.

Si el alcance de una propiedad está incluido en el de otra, diremos que las dos propiedades están *relacionadas legalmente*. Diremos que una propiedad que no está relacionada de este modo con ninguna otra está *aislada* o es *ilegal*.

Esta noción de ley será considerablemente refinada en la Sección 2.3 del Capítulo 3. Adviértase que no hemos definido las leyes o pautas objetivas, sino los enunciados legales o reconstrucciones conceptuales de las pautas objetivas. La relación entre estas dos categorías es un caso de la relación propiedad-atributo discutida en la Sección 1.2.

Se podría objetar que hay leyes de una sola propiedad, tal como la ley de inercia, la cual puede abreviarse «V = const.». Se trataría de un error, ya que esta fórmula es una formulación pobre del enunciado correcto, el cual incluye otras variables. Primero, está la propiedad de ser un cuerpo libre (predicado B). Segundo, hay una referencia tácita a un marco de referencia (predicado F), así como al tiempo (T). En efecto, la formulación completa es: «Si x es un cuerpo libre (B), y es un marco de referencia (F) y t un instante de tiempo (T), la velocidad de x relativamente a y es constante para todo t de T». La función V representa, pues, una propiedad mutua (de un cuerpo y un marco de referencia) y este último enunciado no tiene sentido sin el anterior, que contiene los predicados B y F. Es cierto, el tiempo (T) parece externo a las cosas, común a todas y, por tanto, propiedad de ninguna. Pero en realidad resume el estado del marco de referencia. (Véase la Sección 3.2 del Capítulo 5). De hecho, t se puede reemplazar por la fase de un proceso que tiene lugar en el marco de referencia $y \in F$. (Por ejemplo, t podría ser la posición angular del dial de un cronómetro adosado a y o la masa de agua en flujo en el interior de una clepsidra). Esto da como resultado una propiedad de entidades. En todo caso, la simplicidad inicial de la ley de inercia era engañosa.

Ahora podemos formular la hipótesis de que no hay propiedades aisladas o ilegales:

POSTULADO 2.7 Toda propiedad sustancial está relacionada legalmente con otra propiedad sustancial. O sea, si $P \in \mathbb{P}$, existe un $Q \in \mathbb{P}$ tal que o bien $\mathcal{S}(P) \subseteq \mathcal{S}(Q)$ o bien $\mathcal{S}(Q) \subseteq \mathcal{S}(P)$.

Este principio ontológico subyace a toda la ciencia y la tecnología. (Recuérdese el principio *M8*, Sección 7, de la Introducción).

Adviértase que, puesto que las leyes interrelacionan propiedades sustanciales y estas últimas son propiedades, *las propias leyes son propiedades de las entidades*. Tanto es así que se las puede expresar mediante fórmulas de la forma $\ulcorner(x)Lx\urcorner$. Por consiguiente, es una propiedad de un cuerpo libre el que cumpla la ley de inercia. Como toda otra propiedad, se representa por medio de un predicado analizable del modo prescrito por el Postulado 2.2. Sin embargo, las leyes son propiedades *lato sensu*, no en el sentido estricto que hemos estado discutiendo hasta ahora. El motivo es que si toda ley perteneciera a $\mathbb{P}$, por el Postulado 2.7 aparecería en otra ley y así sucesivamente, *ad infinitum*. Pero esto contradiría el Postulado 2.3, de que $\mathbb{P}$ es finito. En consecuencia, cuando afirmamos que las leyes son propiedades utilizamos el término 'propiedad' en un sentido más amplio que cuando hemos afirmado que las leyes relacionan propiedades. Más sobre esto en un momento.

El Postulado 2.7 es nuestra versión actual del *principio de legalidad*. (Para una discusión sobre éste, véase Bunge, 1959). Desempeñará un papel decisivo en la Sección 3.3 del Capítulo 3, al ayudarnos a definir la noción de clase natural, a distinción de la noción de clase. Y proporciona el siguiente

CRITERIO 2.1 P es una propiedad si P aparece en por lo menos una ley.

Según este criterio, los predicados tales como «no fumador», «rápido o pensante» y «verde antes de 2000 de nuestra era y azul después» (el infame «verdul» [*bleen*]) no representan propiedades concretas. Esto es congruente, desde luego, con la Sección 1. Además, ahora estamos en mejores condiciones para distinguir una función arbitraria de una que representa una propiedad sustancial:

CRITERIO 2.2 Una función F representa una propiedad de individuos sustanciales de la clase $T \subseteq S$ si

(i) T^n, con $n \geqslant 1$ aparece en el dominio de F;

(ii) F está presente en al menos un enunciado legal que se refiere a T.

Según este criterio, «diferenciable» (en el sentido matemático) no representa una propiedad sustancial porque su dominio es el conjunto de funciones. En cambio, se puede hacer que «función diferenciable» represente propiedades que sean continuas.

Por último, introduciremos una convención útil:

DEFINICIÓN 2.8 La totalidad de las leyes que poseen los individuos sustanciales se denota mediante $\mathbb{L}$.

Comentario 1 El concepto ontológico de ley se puede ejemplificar. Sin embargo, no es ostensivo: es imposible señalar una ley como algo diferente de una oración que exprese un enunciado legal que conceptúa una ley. Más aún, nadie podría exhibir, ni siquiera mencionar, el conjunto de todas las leyes. (A lo sumo, se podría intentar listar los enunciados legales conocidos de un campo de investigación dado o, mejor dicho, un subconjunto de enunciados legales estándar dejando de lado sus innumerables casos). Por consiguiente, $\mathbb{L}$ es un conjunto no constructivo y es todavía más metafísico que sus miembros. Ésta es una de esas nociones utilizadas, pero no dilucidadas, en el discurso metacientífico cotidiano de los científicos. *Comentario 2* Puesto que las leyes son propiedades en sentido amplio, podemos formar la totalidad $\mathbb{P} \cup \mathbb{L}$ de las propiedades *lato sensu*, donde $\mathbb{P}$ es el conjunto de propiedades *sensu stricto* (las que se presentan en los miembros de $\mathbb{L}$). *Comentario 3* Dado que las leyes son propiedades, se les puede asignar alcances, siempre que convengamos introducir una nueva función de alcance definida sobre $\mathbb{P} \cup \mathbb{L}$, no sólo sobre $\mathbb{P}$. El alcance de una ley sería, por lo tanto, el conjunto de entidades que poseen (u «obedecen») esa ley. Este conjunto es el mismo que la clase de referencia del enunciado legal que representa la ley objetiva; no es el mismo, sin embargo, que el de su extensión, la cual es el conjunto de entidades para las cuales el enunciado legal es exactamente válido. *Comentario 4* Otra consecuencia de considerar que las leyes son propiedades (en sentido amplio) es que el alcance de una ley puede incluir o estar incluido en el de otra propiedad, en particular en el de otra ley. En consecuencia, el conjunto $\mathbb{L}$ de leyes, lejos de ser amorfo, está parcialmente ordenado con respecto a la amplitud del alcance. Sin embargo, en los desarrollos técnicos que siguen mantendremos el sentido estricto de “propiedad”.

Hasta aquí nuestros principales supuestos y definiciones. A continuación les sacaremos el mayor partido posible.

3.4. Precedencia y conjunción de propiedades

El concepto de ley introducido por la Definición 2.7 y que figura en el Postulado 2.7 sugiere la formación de la siguiente relación de preordenamiento:

DEFINICIÓN 2.9 Si P y Q son propiedades sustanciales (vale decir, miembros de $\mathbb{P}$), P precede a Q sii P es más común que Q, es decir

$$P \preccurlyeq Q =_{df} \mathscr{S}(Q) \subseteq \mathscr{S}(P).$$

Puesto que, a su vez, la inclusión está definida en términos de implicación, la definición previa es equivalente a la

DEFINICIÓN 2.10 Si P y Q son propiedades sustanciales, P precede a Q si P es necesaria para Q, o sea

$$P \preccurlyeq Q =_{df} (x)\ [x \in S \Rightarrow (x \text{ posee } Q \Rightarrow x \text{ posee } P)].$$

En otras palabras, “precede”, “es más común que” y “es necesario para” son coextensivos. De forma equivalente: “sigue a”, “es menos común que” y “es suficiente para” son coextensivos. Ejemplo: la propiedad de pensar sigue a la de estar vivo, la cual a su vez sigue a la de tener material genético.

Advertencia: las definiciones anteriores no deben interpretarse en términos de atributos o predicados, aunque sólo fuera por las siguientes razones. Sean A y B dos atributos con los mismos referentes y el mismo orden, y supóngase que B es necesario para A, vale decir, que $A \Rightarrow B$. Luego, por el teorema de interpolación de Craig, existe al menos otro atributo C con los mismos referentes y el mismo orden que media entre A y B, tal que $A \Rightarrow C \;\&\; C \Rightarrow B$. Éste, que es un teorema de lógica, no garantiza la existencia de una propiedad concreta representada por el predicado interpolado. Tal hipótesis de existencia, si se formula, nos daría una teoría de las propiedades diferente.

La relación anterior es reflexiva y transitiva, es decir, se trata de una relación de preorden. De hecho, no es antisimétrica, esto es, $P \preccurlyeq Q$ y $Q \preccurlyeq P$ no implican que $P = Q$. En efecto, diferentes propiedades pueden tener el mismo alcance, del mismo modo que dos atributos pueden tener la misma extensión sin ser idénticos. Para que resulte un orden y, de tal modo, se pueda desvelar estructuras más ricas, tenemos que desplazar nuestra atención de las propiedades a las clases (o alcances de las propiedades). Para comenzar, estableceremos la

DEFINICIÓN 2.11 Si P y Q son dos propiedades concretas cualesquiera, son *concomitantes* sii poseen el mismo alcance:

$$P \sim Q =_{df} \mathcal{S}(P) = \mathcal{S}(Q).$$

En otras palabras, dos propiedades son concomitantes si los atributos respectivos son equivalentes. O también:

$$P \sim Q =_{df} (x)\ [x \in S \Rightarrow (x \text{ posee } P \Leftrightarrow x \text{ posee } Q)].$$

La concomitancia de propiedades es lo que Hume llamó 'conjunción constante de propiedades' (Hume, 1739-40). En nuestra ontología, en virtud de la Definición 2.7, *la concomitancia de propiedades no es casual, sino legal* o, si se prefiere, es nómicamente necesaria en lugar de accidental.

La relación de concomitancia, ~, es importante porque es una relación de equivalencia sobre $\mathbb{P}$, es decir que divide a $\mathbb{P}$ en conjuntos disjuntos (clases de equivalencia), a saber, los de las propiedades que se presentan juntas. Para investigar la estructura de los conjuntos resultantes, necesitamos algo más de notación:

DEFINICIÓN 2.12 Sea $\mathbb{P}$ la colección de propiedades sustanciales y ~ la relación de concomitancia de propiedades definida sobre $\mathbb{P}$. Luego, para todo $P \in \mathbb{P}$:

(i) la *totalidad de correlatos*[#] de P: $[P] =_{df} \{Q \in \mathbb{P} \mid Q \sim P\}$;

(ii) la *familia de conjuntos de correlatos*: $[\mathbb{P}] =_{df} \{[P] \mid P \in \mathbb{P}\}$;

(iii) el *alcance de los conjuntos de correlatos*: $[\mathcal{S}]$: $([\mathbb{P}]) = \mathcal{P}(S)$

Claramente, para toda propiedad sustancial P, $[\mathcal{S}]\ ([P]) = \mathcal{S}(P)$ es la clase de entidades que poseen P y todas las otras propiedades concomitantes con P.

[#] En el original, *concomitants*. Se trata de las propiedades vinculadas por la relación de concomitancia [*concomitance*]. [N. del T.]

La relación de preorden $\preccurlyeq$ sobre $\mathbb{P}$ induce una relación de orden parcial $[\preccurlyeq]$ sobre $[\mathbb{P}]$, según la

DEFINICIÓN 2.13 Sea $[\mathbb{P}]$ la colección de todas las clases de equivalencias de propiedades. Luego, para dos $[P]$, $[Q] \in [\mathbb{P}]$ cualesquiera,

$$[P]\ [\preccurlyeq]\ [Q] =_{df} \mathcal{S}[Q] \subseteq \mathcal{S}[P].$$

Esta nueva relación de precedencia posee todas las propiedades formales de la relación de inclusión. No nos permite comparar propiedades sino sus alcances y así elimina cualquier diferencia entre las propiedades que tienen el mismo alcance. En consecuencia, $\langle[\mathbb{P}], [\preccurlyeq]\rangle$ es un conjunto parcialmente ordenado. En realidad, $[\mathbb{P}]$ posee una estructura más rica, tal como muestra el

TEOREMA 2.1 La familia de conjuntos de propiedades concomitantes posee la estructura de sup-semirretículo, en la cual el supremo de $[P]$ y $[Q]$ está definido como

$$[P] \sqcup [Q] =_{df} \{R \in \mathbb{P} \mid \mathcal{S}(R) = \mathcal{S}(P) \cap \mathcal{S}(Q)\}.$$

Demostración Se verifica fácilmente que $[P] \sqcup [Q]$ es un conjunto de correlatos y la menor (en el sentido de $[\preccurlyeq]$) cota superior de $\{[P], [Q]\}$, vale decir, $[P], [Q]\ [\preccurlyeq]\ ([P] \sqcup [Q])$.

COROLARIO 2.1 Si una propiedad concreta R pertenece al supremo de dos conjuntos $[P]$ y $[Q]$ de propiedades concomitantes, es decir, $R \in [P] \sqcup [Q]$, la entidad posee R en el preciso caso de que a la vez posea P y Q: $(x)\ [x \in S \Rightarrow (x \text{ posee } R \Leftrightarrow x \text{ posee } P\ \&\ x \text{ posee } Q)]$.

Abreviaremos «x posee P & x posee Q» a «x posee $P \wedge Q$», donde la propiedad compleja $P \wedge Q$ está caracterizada, aunque no definida, por

$$\mathcal{S}(P \wedge Q) = \mathcal{S}(P) \cap \mathcal{S}(Q).$$

Llamaremos a $P \wedge Q$ la *conjunción* de P y Q o la *propiedad compleja* compuesta por P y Q. Ésta no es una definición propiamente dicha, porque la igualdad del alcance (que es todo lo que exigimos) es necesaria pero no suficiente para la identidad de las propiedades. (Advertencia: la conjunción de propiedades no debe confundirse con la concomitancia de propiedades o «conjunción constante»).

Por consiguiente, las propiedades pueden ser simples (básicas) o complejas (o derivadas). Por ejemplo, en la física contemporánea la masa, la carga, el espín y la extrañeza se consideran propiedades básicas (simples), en el sentido de que no son reducibles a otras propiedades. En cambio, el peso es una propiedad derivada (compleja), por cuanto consiste en que una entidad tenga masa *y* esté localizada en un campo gravitatorio. O sea, el peso es la conjunción de dos propiedades.

Sólo una teoría científica puede decir si una propiedad dada es básica o derivada. Pero esta dicotomía sólo es válida para el subconjunto propio $\mathbb{T}$ de $\mathbb{P}$ representado en la teoría, por lo que lo máximo que se puede decir es que cierta propiedad P es simple –o, por el contrario, compleja– *en* $\mathbb{T}$. Teorías alternativas que se ocupen de las mismas propiedades pueden considerarlas de maneras diferentes. Por ejemplo, la energía y la cantidad de movimiento, que son simples en ciertas teorías, se tratan como propiedades complejas en otras. En consecuencia, no podemos emitir un juicio final acerca del grado de complejidad de una propiedad sobre la base de un análisis de los atributos correspondientes. Sin embargo, estos indicios, ambiguos y tornadizos como son, son los únicos que tenemos.

Parece razonable suponer que, aun cuando a menudo encontramos difícil, cuando no imposible, averiguar si una propiedad dada es básica, la realidad no enfrenta tal problema y construye las propiedades complejas a partir de las simples o, mejor dicho, entidades complejas a partir de otras más simples. Por consiguiente, vale la pena formular este supuesto en términos exactos. Pero para ello, primero tendremos que introducir un concepto exacto de propiedad básica. Y esto, a su vez, requiere de la introducción explícita del concepto de propiedad universal, es decir, una propiedad que poseen todas las entidades. Más precisamente, formaremos la clase de equivalencia de todas las propiedades universales y le llamaremos

$$[U] =_{df} \{P \in \mathbb{P} \mid \text{Para todo } x \in S\text{: } x \text{ posee } P\}.$$

Obviamente, $[U]$ precede a todo otro conjunto de propiedades concomitantes del sup-semirretículo $\langle [\mathbb{P}], \sqcup \rangle$, por tanto es su menor elemento, vale decir, que es su elemento nulo. En otras palabras, $[U]$ es la raíz del árbol de (conjuntos de) propiedades (concomitantes): véase la Figura 2.2. Adviértase que no hay elemento máximo formado por propedades que no posea ninguna entidad porque, por la Definición 2.2, una propiedad sustancial es poseída al menos por una entidad.

Ahora estamos en condiciones de dilucidar la noción de propiedad básica (o generadora). Estipularemos que es una propiedad que se presenta como parte de una conjunción de alguna otra propiedad (compleja). Más precisamente, adoptaremos la

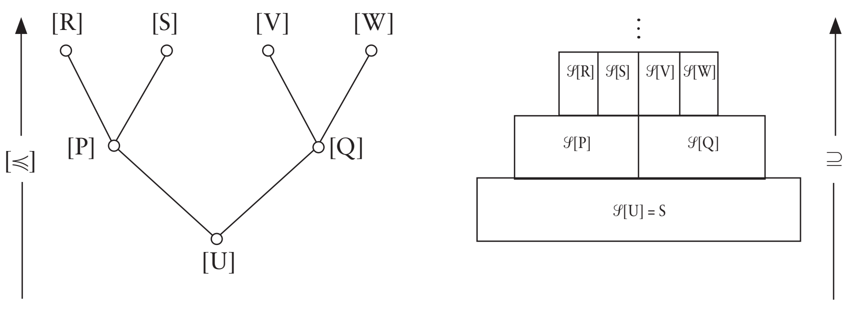


Figura 2.2. El árbol de (conjuntos de) propiedades (concomitantes) y la pirámide de clases de entidades con las mismas propiedades. Cuanto más básica es una propiedad, más común es.

DEFINICIÓN 2.14 Un subconjunto $\mathbb{B}$ de $\mathbb{P}$ se llama conjunto de *generadores independientes* de $\mathbb{P}$ sii

(i) para todo $P \in \mathbb{P}$ existe $B_1, B_2, \ldots, B_n \in \mathbb{B}$, $n \geqslant 1$, tal que $P = B_1 \wedge B_2 \wedge \ldots \wedge B_n$;

(ii) para todo $n > 1$ y todo $B_1, B_2, \ldots, B_n \in \mathbb{B}$, si $B_1 = B_2 \wedge \ldots \wedge B_n$, o bien $B_i = B_1$ o bien $B_i = U$ (una propiedad universal) para $i = 2, 3, \ldots, n$.

Todo conjunto $\mathbb{B}$ de generadores independientes puede dividirse en un conjunto de propiedades universales y otro de propiedades *atómicas*, vale decir, propiedades que son básicas (o generadoras) pero no universales.

$$\mathbb{B} \subseteq At(\mathbb{P}) \cup [U].$$

Si tales propiedades atómicas existen, se trata de una característica de la realidad, no de un «hecho» matemático. Y si suponemos su existencia, tenemos que suponer que son infinitas. En realidad, un semirretículo finitamente generado es finito, pero por el Postulado 2.3, $\mathbb{P}$ es infinito. En consecuencia, el supuesto de que hay propiedades básicas que determinan a todas las demás, será el

POSTULADO 2.8 El conjunto de átomos de $\mathbb{P}$ es infinito y genera $\mathbb{P}$.

Una consecuencia inmediata de ello es que cada propiedad pertenece a alguno de los siguientes tipos:

(i) propiedades *básicas*, vale decir, miembros de un $\mathbb{B} \subseteq At(\mathbb{P}) \cup [\mathrm{U}]$; o bien

(ii) propiedades que son *conjunciones finitas* de dos o más propiedades básicas; o bien

(iii) propiedades que son *conjunciones infinitas* de propiedades básicas (en el sentido de que sus alcances son intersecciones infinitas).

Las conjunciones infinitas de propiedades no son ajenas a este mundo, ni siquiera son excepcionales. Así pues, la trayectoria de una partícula relativamente a un marco de referencia puede interpretarse como la conjunción de sus (numerosas y no numerables) posiciones sucesivas.

La consecuencia gnoseológica del Postulado 2.8 es la siguiente. Para toda clase $T \subset S$ de entidades, a fin de conocer todas las propiedades de $p(T)$, basta conocer las propiedades atómicas de los T, vale decir, de los átomos de $\mathbb{P}$ que pertenecen a $p(T)$.

Concluimos esta sección con una nota algebraica que muestra que la colección de individuos sustanciales, lejos de ser un conjunto amorfo, posee una estructura definida. Considérese la familia $\mathbb{K}$ de todas las clases de individuos sustanciales. Dado que por el Postulado 2.6 la intersección de dos clases cualesquiera es una clase, $\mathbb{K}$ tiene estructura de semirretículo. En otras palabras, hemos demostrado el

TEOREMA 2.2 El sistema $\langle \mathbb{K}, \cap \rangle$, en el cual

$$\mathbb{K} = \{\mathcal{S}(P) \in 2^S \mid P \in \mathbb{P}\}$$

es la familia de todas las clases de individuos concretos, es un inf-semirretículo.

Habrá mucho para decir acerca del álgebra de clases de individuos concretos en la Sección 3 del Capítulo 3.

3.5. Semejanza

El saber que dos objetos concretos son diferentes no basta: debemos saber cuál es su grado de diferencia o, lo que es lo mismo, en qué aspectos son iguales. Ser iguales en algunos aspectos es ser semejantes [similares o parecidos]. Ahora bien, la semejanza puede ser fuerte o débil, superficial o profunda, según la superposición de las propiedades sea pequeña o grande. La mayoría de las afirmaciones de identidad que se refieren a objetos concretos son, en realidad, enunciados de semejanza fuerte (o igualdad), no de identidad estricta. Por ejemplo, el enunciado de que todos los átomos de un tipo dado son idénticos significa que son iguales, con excepción de ciertas diferencias extrínsecas, entre ellas su posición relativa, por ejemplo.

Por consiguiente, debemos estudiar el concepto de grado de semejanza y su complemento, el grado de desemejanza. Comenzaremos con la convención de que la semejanza entre dos cosas es la colección de sus propiedades compartidas. Más precisamente, estableceremos la

DEFINICIÓN 2.15 Sea σ: $S \times S \to 2^{\mathbb{P}}$ una función tal que $\sigma(x, y) = p(x) \cap p(y)$ para todo $x, y \in S$. Luego,

(i) $\sigma(x, y)$ se llama *semejanza* entre x e y, y

(ii) se dice que dos entidades son *semejantes* (~) sii su semejanza no es nula:

$$\text{Si } x, y \in S \qquad \text{luego,} \qquad x \sim y =_{df} \sigma(x, y) = \varnothing.$$

Adviértase que ~ es una relación de semejanza, no de equivalencia, porque es reflexiva y simétrica, pero no transitiva. (Una entidad puede parecerse a otra y ésta a una tercera, sin que la primera se parezca a la última. Piénsese en los parecidos entre caras humanas).

Por el Postulado 1.1 de la Sección 1.2, Capítulo 1, todo individuo sustancial posee la propiedad de asociación. (Además, sabemos por la física que todas las entidades poseen energía, son capaces de moverse, etc.). En consecuencia,

TEOREMA 2.3 Todas las entidades son semejantes (o iguales en algún aspecto): si $x, y \in S$, luego $x \sim y$.

En otras palabras, no importa cuán desemejantes puedan ser dos cosas en la mayoría de sus aspectos, comparten alguna propiedad, en realidad, diversas propiedades. Ésta es una de las razones de que todas las cosas puedan estudiarse de manera científica (sirviéndose del método científico); la otra razón es que quienes las estudian son seres provistos de neurosistemas semejantes. Advertencia: esto no equivale a la conclusión de que todas las cosas tienen las mismas propiedades, sólo que en grados variables, tal como creían Whitehead (1929) y Teilhard de Chardin (1964).

Si, en pro de la conveniencia –en lugar del de la verdad y la profundidad– asignamos la misma importancia a todas las propiedades, podemos definir un concepto cuantitativo de grado de semejanza, a condición de que nos limitemos al subconjunto de las propiedades conocidas de una cosa (para evitar la división por infinito):

DEFINICIÓN 2.16 El *grado de semejanza* entre dos entidades $x, y \in S$ relativamente a un subconjunto finito $\mathbb{B}$ de $\mathbb{P}$ (tal como, por ejemplo, la semejanza genética o la semejanza cultural entre dos poblaciones humanas) es

$$s(x, y) = \frac{|\sigma(x, y) \cap \mathbb{B}|}{|[p(x) \cup p(y)] \cap \mathbb{B}|}.$$

Éste no es otro que el coeficiente utilizado en taxonomía numérica para estimar la distancia entre especies biológicas (Sneath & Sokal, 1973). Puesto que $\mathbb{B}$ es un conjunto finito, $s(x, y)$ puede ser cero o puede ser igual a la unidad. Por ejemplo, el grado de semejanza genética entre dos células cualesquiera de un organismo dado es igual a 1. Pero si consideramos que $\mathbb{B}$ es un conjunto de propiedades lo bastante grande, resulta un valor de s menor.

Los conceptos de semejanza que acabamos de discutir se pueden generalizar a todo el conjunto de las entidades del siguiente modo. Sean $x_1, x_2, \ldots, x_n$ miembros de un conjunto finito T de entidades. Luego, la *semejanza entre los miembros de T* se define como

$$\sigma(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \bigcap_{x_i \in T} p(x_i)$$

y el respectivo grado de semejanza como

$$s(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \frac{|\sigma(x_1, x_2, \ldots, x_n)|}{\left|\bigcup_{x_i \in T} p(x_i)\right|}$$

Sin embargo, no utilizaremos los últimos dos conceptos.

La noción de desemejanza es matemáticamente más interesante que su complemento. La definiremos del siguiente modo:

DEFINICIÓN 2.17 Sea δ: $S \times S \to 2^{\mathbb{P}}$ una función tal que

$$\delta(x, y) = p(x) \,\Delta\, p(y) \qquad \text{para todo} \qquad x, y \in S,$$

donde 'Δ' designa la diferencia simétrica o booleana. $\delta(x, y)$ se llama *desemejanza* entre x e y.

Por las Definiciones 2.15 y 2.17, la relación entre δ y σ es

$$\delta(x, y) = p(x) \cup p(y) - \sigma(x, y).$$

La función δ es una función de distancia cuyos valores son conjuntos, por lo cual $\delta(x, y)$ debe ser una buena medida de la «distancia» entre x e y en el espacio de propiedades. Más precisamente, tenemos el

TEOREMA 2.4 La función de desemejanza δ es una función de distancia cuyos valores son conjuntos en un espacio unidimensional: para todo $x, y, z \in S$,

(i) $\varnothing \subseteq \delta(x, y) \subset \mathbb{P}$;
(ii) δ es simétrica: $\delta(x, y) = \delta(y, x)$;
(iii) $\delta(x, y) = \varnothing$ sii $x = y$;
(iv) $\delta(x, y) \,\Delta\, \delta(y, z) = \delta(x, z)$.

Demostración La primera parte es obvia a partir de la definición. (ii) es una consecuencia de la simetría de Δ. (iii) se sigue de $p(x) \,\Delta\, p(x) = \varnothing$. Y a la inversa, por el Postulado 2.5, si $p(x) \,\Delta\, p(y) = \varnothing$, luego $x = y$. (iv) se sigue del reemplazo del miembro izquierdo de (iv) por el definiens:

$$[p(x) \,\Delta\, p(y)] \,\Delta\, [p(y) \,\Delta\, p(z)] = p(x) \,\Delta\, p(y) \,\Delta\, p(y) \,\Delta\, p(z) = p(x) \,\Delta\, p(z).$$

Tomando la numerosidad de la desemejanza y normalizándola a la unidad, resulta un concepto cuantitativo de desemejanza:

DEFINICIÓN 2.18 Tómese un subconjunto finito del conjunto de todas las propiedades de dos entidades $x, y \in S$. Luego, su *grado de desemejanza* es

$$d(x, y) = \frac{|\delta(x, y)|}{|p(x) \cup p(y)|}.$$

Los valores de d, al igual que los del grado de semejanza s, están acotados por 0 y 1. Se puede probar que d es una métrica y, en consecuencia, una buena medida de la distancia entre entidades en cuanto a sus propiedades. (De más está decir que no hay ninguna relación, salvo una semejanza matemática, entre esta distancia y la distancia espacial). O sea, se puede demostrar el

TEOREMA 2.5 La estructura $\langle S, d\rangle$, en la cual d es el grado de desemejanza, es un espacio métrico.

En ocasiones, se llama *oposición* a la diferencia extrema. Este concepto es dilucidado por la

DEFINICIÓN 2.19 Dos entidades son *opuestas* entre sí sii su semejanza es nula.

Pero según el Teorema 2.3, todas las cosas comparten algunas propiedades. Por consiguiente, tenemos el

TEOREMA 2.6 No hay entidades opuestas.

Cuando existe, la oposición es relativa a un subconjunto propio de propiedades. Además, sólo deben contar las propiedades «positivas»: la mera ausencia de una propiedad no debe igualarse a lo opuesto de esa propiedad. Por ejemplo, la oscuridad no es lo opuesto de lo luminoso, ya que la primera no es otra cosa que la ausencia de luminosidad. La oposición real, cuando existe, es activa y consiste en poseer efectos contrarios. Además, la oposición real no existe entre entidades completamente diferentes. Por ejemplo, dos animales de la misma especie luchan por la misma charca de agua, la misma presa o la misma hembra, precisamente porque poseen instintos semejantes.

Este asunto requiere unos cuantos ejemplos más. En un circuito eléctrico, la autoinductancia se opone, inicialmente, a la acción de la fuerza electromotriz impresa, de suerte que los dos aspectos tienen efectos mutuamente opuestos en la corriente total. Asimismo, si una sustancia A promueve la síntesis de una proteína y, a la vez, A' la inhibe, puede considerarse correctamente que A y A' son opuestas con respecto a la síntesis de proteínas, sin importar cuánto se parezcan en otros aspectos; y se parecen, porque ambas pueden actuar sobre una proteína dada. De igual modo, los sistemas simpático y parasimpático de un mamífero se oponen entre sí, en el sentido de que se controlan mutuamente: cuando uno de ellos estimula un órgano determinado, el otro lo inhibe. Pero ni siquiera esta oposición es completa, ya que también hay cooperación entre ambos sistemas. Y, en todo caso, esta interacción tiene como resultado la homeostasis o equilibrio, no un cambio cualitativo (tal como un colapso del sistema principal), por lo cual no ejemplifica la dialéctica.

En resumen, si bien *algunos* pares de cosas poseen partes y características que se oponen mutuamente en *ciertos* aspectos (y no en otros), no hay ninguna cosa compuesta por opuestos absolutos. En consecuencia, la tesis de las ontologías dialécticas, de que *todas* las cosas son una síntesis o unidad de opuestos (¿en cuáles de todos sus aspectos?), si es inteligible, es falsa. Además, el supuesto de que hay opuestos absolutos contradice la tesis materialista, incorporada a nuestro sistema, de que todas las cosas –independientemente de cuán distintas sean– comparten algunas propiedades, precisamente por el hecho de ser entidades. Asimismo, la tesis de que todas las cosas son unidades de opuestos implica la divisibilidad infinita de cada cosa en dos entidades mutuamente opuestas y no existen pruebas empíricas de esta consecuencia. Lo máximo que podemos decir es que hay opuestos relativos, vale decir, cosas con características cuyos efectos se oponen entre sí. Pero esta tímida tesis no puede servir de piedra angular a una cosmología filosófica. (Más sobre la dialéctica en Bunge, 1975).

El resultado de esta sección es el que sigue. Si bien por el Postulado 2.5 toda entidad es única en algunos aspectos, en otros todas las entidades son semejantes. ¿Diremos, entonces, que todas las entidades son y no son similares? Nada de eso: 'similares' (o 'semejantes') es un término sincategoremático o, si se prefiere, una noción vaga que se debe calificar mediante la expresión 'en los aspectos P'. La expresión completa 'x e y son similares (semejantes) en los aspectos P' ya no es vaga, por lo que no nos conduce a una contradicción. Es, asimismo, compatible con 'x e y son desemejantes en los aspectos Q, donde $Q \neq P$'. En otras palabras, 'semejante' no es una palabra atributo al mismo nivel que ‘vivo’: se trata de una palabra atributo incompleta o parcial, pero no más incompleta que ‘azul’ o ‘pesado’. De ahí la necesidad de reemplazar, donde sea posible, la relación ~ de semejanza por la función σ o la función d.

3.6. Indiscernibilidad

Afirmamos que no hay dos entidades idénticas y, a pesar de ello, nuestra experiencia común es que hay cosas que son indiscernibles o indistinguibles. No hay ninguna contradicción en ello, ya que se trata de dos conceptos diferentes de diferencia: el concepto *ontológico* de diferencia (objetiva) por un lado y el concepto *gnoseológico* (pragmático o psicológico) de diferenciabilidad (subjetiva), discernibilidad o capacidad de alguien de distinguir de manera empírica, vale decir, mediante la observación. Dos entidades pueden ser indistinguibles para un sujeto dado provisto de ciertos medios de observación, pero se pueden tornar discernibles para el mismo sujeto gracias al uso de un equipo mejor. (El concepto de poder de resolución de un microscopio o un telescopio presupone la distinción entre la diferencia objetiva y la diferencia percibida).

En consecuencia, debemos distinguir entre la diferencia fáctica y la diferencia empírica o discernibilidad. Esto requerirá la introducción de una noción que, en términos estrictos, no tenemos derecho a utilizar de manera sistemática, ya que la presentaremos en el Capítulo 10 del Volumen 4: la noción de sujeto cognoscitivo. Por consiguiente, no asignaremos números a las definiciones que siguen.

DEFINICIÓN. Sean $\mathbb{P}_s \subset \mathbb{P}$ un subconjunto propio de la totalidad de propiedades sustanciales y s un sujeto cognoscitivo en un estado dado y provisto de ciertos medios cognitivos (instrumentos, teorías, etc.). Luego, para $x, y \in S$, x e y son *indiscernibles* (indistinguibles) para s si x e y son iguales en todos los aspectos $P \in \mathbb{P}_s$, conocidos para s. Notación: $x \sim_s y$.

Los términos ‘indiscernibilidad’ e ‘indistinguibilidad’ han sido utilizados de manera errónea en muchos momentos decisivos. *Ejemplo 1* El propio Leibniz enunció su principio (nuestro Postulado 2.5) de manera equívoca, escribiendo que «*il n’y a point dans la nature deux êtres réels* *absolus indiscernibles*»[#] y llamándole *principium identitatis indiscernibilius*. Tal como observó Russell (1900), todo lo que Leibniz pretendía afirmar era «que dos sustancias [cosas] cualesquiera difieren en cuanto a sus predicados [propiedades]». Leibniz no puede haber pretendido afirmar que si dos cosas son indiscernibles son idénticas, dado que estaba perfectamente al tanto de las maravillas del microscopio. *Ejemplo 2* En ocasiones se llama se llama *principio de indiscernibilidad de los idénticos* al principio lógico de sustitutividad, otro error obvio. Piénsese: el principio sostiene que si b posee P y si $b = c$, luego P es verdadero también de c. Se ha puesto en boga afirmar que este principio no se cumple en los llamados «contextos intensionales» y, en consecuencia, se siembran dudas acerca de la verdad del principio ontológico de Leibniz (nuestro Postulado 2.5). Por ejemplo, está claro que «Smith duda de que $x = y$» no implica «Smith duda de que $x = x$». La respuesta es: si Smith duda de que $x = y$, lo mejor sería que se abstuviese de aplicar el principio de sustitutividad. Y si un principio no es aplicado, no corre ningún riesgo. En todo caso, esto nada tiene que ver con la indiscernibilidad. *Ejemplo 3* En microfísica, se supone que las partículas de la misma clase y en el mismo estado (vale decir, sin diferencias intrínsecas) se consideran iguales o equivalentes, de suerte que se las puede intercambiar tanto de hecho como en los cómputos. Este supuesto se formula habitualmente con el término 'indistinguibles' en sustitución de 'iguales' o 'equivalentes', como si a las partículas les preocupara nuestra capacidad de discernir entre ellas. El hecho es que distinguimos las partículas por medio de sus propiedades extrínsecas (espaciotemporales) y de este modo podemos contarlas. Véase la Figura 2.3. En otras palabras, la verdad es que las «partículas elementales» son distintas y a menudo indistinguibles en la práctica, pero *(a)* se las puede considerar iguales o equivalentes y *(b)* cuando constituyen ciertas totalidades pierden parte de su individualidad. (Para la parcial pérdida de «identidad» de las cosas cuando se convierten en componentes de un sistema, véase la Sección 4.2 del Capítulo 5). En resumen, el Postulado 2.5 es confirmado por la microfísica. Platón (*Fedón*, 74a-75c), Leibniz (1704, Capítulo XXVII) y Bolzano (1851, Sección 50) estuvieron en lo correcto al suponerlo.

[#] «No hay en la naturaleza dos seres absolutos reales, que sean indiscernibles el uno del otro». [N. del T.]

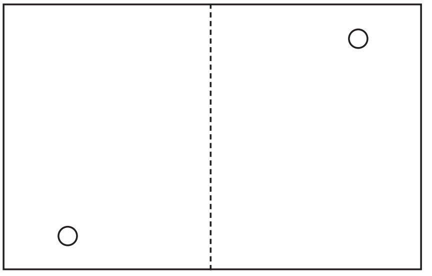


Figura 2.3. Dos electrones en una caja: intercambiables si están en el mismo estado, pero distintos y distinguibles (discernibles). O sea, el que los intercambiemos no tiene efecto sobre los estados del sistema como totalidad. Pero puede suceder precisamente porque las partículas son distintas.

La indiscernibilidad es un tipo especial de semejanza (véase la Sección 3.5). En consecuencia, a diferencia de la identidad, la indiscernibilidad no es transitiva. Por consiguiente, no genera clases de equivalencia. En lugar de ello, la indiscernibilidad da lugar a espacios de indiscernibilidad, también llamados espacios de tolerancia (Zeeman, 1962; Schreider, 1975). Estos espacios poseen interesantes propiedades topológicas y se presentan en el estudio de la percepción. Les echaremos un rápido vistazo, comenzando por la

DEFINICIÓN Un espacio de tolerancia $\langle T, \sim_s \rangle$ es un conjunto $T \subset S$ de entidades, junto con una relación de indistinguibilidad (indiscernibilidad) $\sim_s$ sobre T.

Ejemplo Sea T la colección de entidades en el campo visual del sujeto s (en un estado dado) y sea $\sim_s$ la tolerancia de agudeza visual para el mismo sujeto, es decir, (de manera extensional) la colección de pares de entidades que s no puede distinguir entre sí visualmente. La estructura $\langle T, \sim_s \rangle$ es un espacio de tolerancia.

La topología de un espacio de tolerancia está determinada por la colección de entornos definidos por

DEFINICIÓN La *vecindad* de una entidad $x \in S$ es la colección de entidades indistinguibles de x:

$$N(x) = \{y \in S \mid y \sim_s x\}.$$

Estos entornos pueden abarcar a cualquier conjunto dado de entidades. (Claramente, ninguna topología generada de este modo es Hausdorff. Por lo tanto, reviste escaso interés, si es que tiene alguno, en el estudio del espacio físico). Lo que vale para las entidades individuales vale también para los agregados de éstas, ya que también son entidades. O sea, podemos definir espacios de tolerancia para conjuntos de agregados de entidades. Pero no podemos definir la indistinguibilidad entre conjuntos de cosas, salvo, desde luego, la indistinguibilidad conceptual, la cual es la misma que la identidad. En consecuencia, la mayoría de los resultados sobre los espacios de tolerancia obtenidos por Zeeman (1962) no posee aplicación en la realidad. Un caso pertinente es el del teorema según el cual si $\langle T, \sim_s \rangle$ es un espacio indistinguible, también lo es $\langle 2^T, \sim_s \rangle$. En realidad, ni percibimos ni dejamos de percibir los elementos de 2^T porque son conjuntos.

4. Propiedades de propiedades

4.1. Identidad y diferencia de propiedades

¿Cómo se puede caracterizar la identidad de propiedades? Vale decir, ¿en qué condiciones se puede decir que dos propiedades son la misma? Comenzaremos examinando y, finalmente, rechazando dos soluciones aparentemente naturales a este problema, para acabar llegando a la conclusión de que el problema mismo está mal concebido.

Supongamos que se conciben las propiedades de modo nominalista, es decir, como una colección de individuos o de n-tuplas de ellos (recuérdese la Introducción). Luego, las propiedades idénticas serían aquellas poseídas por los mismos individuos exactamente (cf. Wilson, 1955). O sea, toda clase de equivalencia $[P]$ de propiedades concomitantes (Definición 2.11) sería un conjunto unitario. Pero esta propuesta no es viable, ya que elimina la diferencia entre propiedades con igual alcance y, en consecuencia, entre atributos coextensivos, pero no cointensivos, tales como «fluido» y «viscoso» o «viviente» y «mortal». Por consiguiente, aquí como en todas partes, el nominalismo es un fracaso.

Otra posibilidad que parece obvia es adoptar una paráfrasis de la ley de identidad individual de Leibniz (Postulado 2.5), a saber: «Dos propiedades son la misma en el preciso caso de que posean las mismas propiedades (de segundo orden)». Lamentablemente, no sabemos con exactitud qué podría ser una propiedad de segundo orden. Todo lo que sabemos es qué es un *atributo* o predicado de segundo orden: uno que se aplica a predicados de primer orden y obedece un sistema de lógica de predicados de segundo orden. Por consiguiente, el criterio lógico de identidad de atributos no nos sirve de ayuda.

Nuestra teoría de las propiedades se ocupa sólo de propiedades de individuos y, en consecuencia, no incluye una definición –ni mucho menos un criterio– de identidad de propiedades. Esto no supone ningún problema, puesto que nadie necesita tal definición ni tal criterio. En la ciencia, como en la vida cotidiana, se usan las propiedades para individuar las entidades, no a la inversa. En consecuencia, caracterizamos la identidad (o la diferencia) de cosas, mediante el Postulado 2.5.

Por las razones expuestas, las discusiones acerca de la identidad de propiedades en la literatura filosófica de nuestros días son obcecadamente desatinadas y, por ello, estériles. Además, son descuidadas porque no se realizan en el contexto de una teoría de propiedades hecha y derecha. Pasemos a examinar, entonces, algunos problemas genuinos y, en primer lugar, el problema de la identidad de atributos.

Este problema es genuino y tratable, aunque sólo fuera porque somos nosotros quienes fabricamos los atributos. A grandes rasgos, el criterio de identidad de atributos es el que sigue: «Dos atributos son el mismo si están en la misma función (proposicional) y se les ha asignado la misma interpretación». La identidad de función no es suficiente porque es posible asignar a la misma función diversas interpretaciones no equivalentes entre sí. Para obtener una caracterización completa de un atributo que representa una propiedad concreta dada debemos añadir el supuesto semántico (o «regla de correspondencia») que nos diga cuál propiedad de qué entidades representa el predicado en cuestión.

Puede obtenerse una caracterización más precisa de la identidad de atributos con ayuda de la teoría del significado (Volumen 2, Capítulo 7). En ella, dos predicados son el mismo en el preciso caso de que posean el mismo sentido y la misma clase de referencia. Si el predicado pertenece a un contexto cerrado determinado, tal como una teoría científica, su sentido se define como la unión de su ideal principal y de su filtro principal. Y, en todo caso, la clase de referencia de un predicado es igual a la unión de los conjuntos que hay en su dominio. Por consiguiente, dos predicados son el mismo en el preciso caso de que *(a)* las uniones de sus respectivos ideales y filtros principales coincidan y *(b)* sus dominios sean el mismo. En resumidas cuentas, tenemos el

CRITERIO 2.3 Dos atributos (predicados) son el mismo sii poseen el mismo sentido y los mismos referentes.

De más está decir que dos predicados son diferentes en el preciso caso de que no sean el mismo. Además, su diferencia exacta se puede calcular con ayuda de la Definición 7.13 del Capítulo 7 del Volumen 2.

Hasta aquí lo referente al pseudoproblema de la identidad de propiedades.

4.2. Peso de las propiedades

Aristóteles observó que no todas las propiedades tenían el mismo peso y las clasificó en esencias y accidentes. Se equivocaba, desde luego, al reducir las esencias a los cuatro elementos básicos, al considerarlas absolutas e inmutables y al creer que el cambio (en particular el movimiento) era tan accidental como la localización. Galileo descartó las esencias aristotélicas porque eran incognoscibles y, mediante el estudio de los modestos pero cognoscibles *accidentia* y de sus interrelaciones legales, revolucionó la ciencia. (Véase Shea, 1972, pp. 70-72).

Aunque la ciencia moderna rechaza la dicotomía esencia/accidente, no deja a un lado la distinción entre propiedades esenciales y accidentales. Lejos de equiparar todas las propiedades, reconoce que algunas son necesarias para la existencia de otras (Sección 3.3); además, supone que hay lo que podríamos llamar grados de necesidad. Tanto es así que siempre que se construye un modelo teórico de una entidad concreta se intenta utilizar las propiedades sobresalientes y se descartan todas las demás, considerándose que no son esenciales, por lo menos hasta nuevo aviso. En consecuencia, la hipótesis ontológica de que las propiedades poseen diferentes pesos subyace a la estrategia de construcción de modelos.

Allí donde las teorías son escasas pero los datos abundan, es posible utilizar medidas estadísticas del peso de las propiedades. El candidato más obvio es, por supuesto, el coeficiente de correlación lineal. Con su auxilio se puede definir la siguiente medida de importancia relativa de una propiedad. (Cf. Blalock, 1961). Sean P, Q y R propiedades tal que R dependa (estadísticamente) de P y Q. Luego,

$$P \text{ tiene } \textit{más peso} \text{ que } Q \text{ para } R \text{ sii } |r_{PR}| > |r_{QR}|,$$

Donde r_{AB} es el coeficiente de correlación lineal entre A y B.

Tan pronto como se pueda suponer dependencias funcionales precisas entre las variables, será posible establecer una medida más precisa y estable del peso relativo de las propiedades. Así pues, si F es una función diferenciable de n variables x_i, en la cual $1 \leqslant i \leqslant n$, cada una de estas variables «independientes» aporta su cuota a F. Una medida obvia de las contribuciones de x_i a F (o del peso de x_i relativamente a F) es

$$w(x_i, F) = \int_{D_i} dx_i \left| \frac{\partial F}{\partial x_i} \right|$$

donde D_i es el dominio de x_i.

Independientemente del modo preciso de cálculo, los pesos de las propiedades están dilucidados por la

DEFINICIÓN 2.15 Se llama *peso de una propiedad* –y a su valor $w\,(P, Q)$, *peso* de P relativamente a Q– a una función cualquiera w: $\mathbb{P}\ x\ \mathbb{P} \rightarrow [0, 1]$ tal que, para todo $P, Q, R \in p[T]$, donde $T \subset S$,

(i) $w(P, P) = 1$ para todo P;

(ii) si P precede a (es necesario para) Q, luego $w(P, Q) \geqslant w(Q, P)$;

(iii) si P y Q son incompatibles [por la Definición 2.4], $w(P, Q) =$ $= w(Q, P) = 0$;

(iv) si P y Q son concomitantes [por la Definición 2.11], $w(P, Q) =$ $= w(Q, P) \neq 0$;

(v) para todo $P \neq Q$ dado, $\sum_{Q \in \mathbb{P}} w(P, Q) = 1$;

(vi) $\ulcorner w(P, R) > w(Q, R) \urcorner$ se interpreta como que P tiene más peso que Q para R.

¿Y qué sucede con las propiedades esenciales? Las respuestas tradicionales son:

(i) el *nominalismo* y *convencionalismo*: no hay propiedades esenciales;

(ii) el *esencialismo*: cada entidad tiene algunas propiedades que son esenciales y todas las demás son accidentales.

La primera doctrina discrepa de la práctica científica, en la cual no se asigna el mismo peso a todas las propiedades, sino que se considera que algunas son básicas y otras derivadas. (Por ejemplo, algunas propiedades químicas son estéricas, vale decir, dependientes de la forma. Y algunas propiedades biológicas dependen de la composición química). En cuanto al esencialismo clásico, contenía una pizca de verdad: el reconocimiento de que no todas las propiedades son etiquetas que se pueden poner y quitar. A la vez, se equivocaba al pensar que los accidentes no eran importantes ni se regían por leyes. Y la última versión del esencialismo, es decir, el esencialismo modal (cf. Teller, 1975) es inútil a causa de que gira alrededor de la vaga noción de necesidad dilucidada en la lógica modal, cuya inanidad metafísica se mostrará en el Capítulo 4.

Nuestra variedad de esencialismo, que podemos llamar *esencialismo nomológico*, se reduce a los siguientes puntos:

(i) Una propiedad esencial es, por definición, una propiedad que, en lugar de estar aislada participa en alguna ley. (En cambio, una propiedad accidental es una propiedad que no es esencial). Ahora bien, por el Postulado 2.7, todas las propiedades participan en alguna ley. En consecuencia, *todas las propiedades son esenciales*, es decir, legales. En otras palabras, no hay propiedades accidentales.

(ii) Si bien no hay propiedades accidentales, sí hay *atributos* que son accidentales en un contexto dado. En consecuencia, el precio del oro es accidental desde el punto de vista de la química, pero no lo es desde una perspectiva financiera.

(iii) Toda ley de una entidad es una propiedad de ella (en el sentido ampliado aclarado en la Sección 3.3), por lo cual es una propiedad esencial de la entidad.

(iv) La auténtica divisoria no es la inexistente distinción entre *essentia* y *accidentia*, sino la que hay entre propiedades *básicas* y *derivadas*. La distinción es inherente a la propia noción de precedencia de propiedades: P es *básica* para Q sii $P \preccurlyeq Q$ o $\mathscr{S}(Q) \subseteq \mathscr{S}(P)$. Pero si P es básica para Q, P también es básica para la ley $\ulcorner \mathscr{S}(Q) \subseteq \mathscr{S}(P) \urcorner$.

El esencialismo nomológico posee las siguientes ventajas sobre sus rivales: *(a)* es consistente con una teoría completa de las propiedades; *(b)* se ajusta a la práctica científica; *(c)* desalienta la opinión popular de que la esencia de las cosas es parte de ellas, a saber, un núcleo interior inmutable, núcleo que en la mayoría de los casos ha probado ser imaginario y *(d)* pone un punto final a la disputa medieval (revivida por el existencialismo) acerca de si la esencia es anterior a la existencia o viceversa.

4.3. Resultantes y emergentes

Regresemos a las propiedades en general, tales como la de tener glóbulos rojos, en lugar de a las propiedades individuales, tal como tener tantos glóbulos rojos en un momento dado. A algunas propiedades se las puede llamar *de la totalidad* o *globales*, ya que éstas caracterizan una entidad como totalidad. Las propiedades globales son de dos tipos: resultantes y emergentes (Lewes, 1879). La energía es una propiedad resultante o hereditaria en el sentido de que cada parte de una cosa la posee. En cambio, las de ser estable, estar vivo, poseer cierta estructura y experimentar una revolución social son propiedades emergentes o no hereditarias, porque no las posee cada componente de una totalidad: véase la Figura 2.4. En consecuencia, tenemos justificación para proponer la

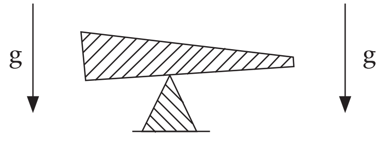


Figura 2.4. Una palanca, sostenida por una cuña, en equilibrio en un campo gravitatorio. Estar en equilibrio es una propiedad del sistema como totalidad.

DEFINICIÓN 2.16 Sea $P \in p(x)$ una propiedad de una entidad $x \in S$ con composición $\mathscr{C}(x) \supset \{x\}$. Luego, P es una *propiedad resultante* o *hereditaria* de x sii P es una propiedad de algunos componentes $y \in \mathscr{C}(x)$ diferentes de x; de lo contrario, P es una *propiedad emergente* o *gestáltica* de x. Vale decir,

(i) P es una propiedad *resultante* o *hereditaria* de $x =_{df} P \in p(x)$ & $(\exists y)$ $[y \in \mathscr{C}(x)$ & $y \neq x$ & $P \in p(y)]$;

(ii) P es una propiedad *emergente* o *gestáltica* de $x =_{df} P \in p(x)$ & (y) $[y \in \mathscr{C}(x)$ & $y \neq x$ & $P \in p(y)]$.

El mecanicismo y el individualismo suponen que todas las propiedades son hereditarias o resultantes y, en consecuencia, que se las puede explicar por medio de la reducción, como sucede con la carga total de un cuerpo o el consumo total de mercancías de una sociedad. Nosotros, en cambio, seguimos la tradición de los atomistas griegos y admitimos la existencia de propiedades emergentes. Sin embargo, a diferencia del holismo, consideramos que las propiedades emergentes están arraigadas en las propiedades de los componentes y, por ende, pueden explicarse en términos de tales propiedades, aunque no mediante su reducción a ellas. Por ejemplo, la temperatura puede explicarse como la energía cinética promedio de las moléculas, pero este no es un ejemplo de reducción, a causa de que los promedios, si bien se calculan a partir de valores individuales y nada más, son propiedades colectivas. Si no lo fueran, tendría sentido asignar un valor de temperatura a una molécula individual y una estructura social a una persona y no lo tiene. Asimismo, la cohesión de una sociedad puede explicarse en términos de la participación de sus miembros en diversas células sociales, pero se trata de una propiedad social, no de una individual. Estos comentarios pueden generalizarse enunciando el

POSTULADO 2.9 Algunas propiedades sustanciales de toda cosa compuesta son emergentes y todas las propiedades emergentes de una totalidad están precedidas por las propiedades de algunas de sus partes:

(i) $(x)\ (x \in S\ \&\ \mathscr{C}(x) \supset \{x\} \Rightarrow (\exists P)\ (P \in p\ (x)\ \&\ P$ es emergente$))$;

(ii) $(x)\ (x \in S\ \&\ \mathscr{C}(x) \supset \{x\} \Rightarrow (P)\ ((P \in p\ (x)\ \&\ P$ es emergente$) \Rightarrow (\exists y)\ (\exists Q)\ (y \in \mathscr{C}(x)\ \&\ Q \neq P\ \&\ Q \in p(y)\ \&\ Q \preccurlyeq \mathrm{P})))$.

Mientras que la primera cláusula animará a los holistas, la segunda disminuirá su entusiasmo. En realidad, en tanto que (i) afirma que algunas propiedades globales son emergentes, (ii) sugiere que los emergentes son analizables, aunque no reducibles. En otras palabras, en tanto que algunas propiedades globales (las hereditarias o resultantes) son eliminables (definibles) a favor de las micropropiedades, otras no lo son. Con todo, en ambos casos son analizables o explicables. Hagamos hincapié en que, si bien la reducibilidad (ontológica) implica la analizabilidad (gnoseológica), la inversa es falsa. Hay novedad epistémica en la formulación de atributos que representan novedades emergentes (ontológicas). La explicación de la emergencia no supone la eliminación de la novedad ontológica: la montaña no desaparece con la explicación de que está compuesta por átomos. La emergencia explicada sigue siendo emergencia.

4.4. Propiedades de propiedades

Todo predicado posee ciertas propiedades: predicados de segundo orden. La *n*-aridad de un predicado es ese predicado de segundo orden. Las propiedades como ésta pertenecen a la definición misma de predicado. Una propiedad de segundo orden de diferente tipo es la ejemplificada por el predicado «predicado mecánico». Con éste nos referimos a un predicado, tal como un tensor tensión mecánico, que aparece exclusivamente en las teorías mecánicas. Estas propiedades son dependientes de la forma de división del trabajo intelectual. En cada caso, una propiedad de un predicado es un constructo, no la propiedad de un objeto concreto.

¿Y qué hay de las propiedades sustanciales: tiene propiedades cada una de estas propiedades y representan, las primeras, rasgos de un individuo sustancial? Examinemos un par de ejemplos. Primero: el peso de un organismo posee la propiedad de variar a lo largo del tiempo. Pero éste es sólo un modo de decir que los organismos tienen un *peso variable* y ésta es una propiedad de los organismos, no una propiedad de segundo orden. Segundo: la especificidad propia de las enzimas es (según se piensa) una propiedad estérica, vale decir, derivada de la forma de la molécula de enzima. Pero esto equivale a decir que la *forma precede la especificidad* de la molécula y ésta es una ley acerca de las enzimas, es decir, una propiedad de primer orden.

Nos atreveremos y generalizaremos: mientras que todo predicado tiene algunos predicados (de segundo orden), no hay propiedades sustanciales de segundo orden. Sea lo que fuere aquello que prediquemos de las propiedades sustanciales, se trata de un predicado: un constructo o artefacto. (Desde luego, algunos de estos predicados se atribuyen con verdad y otros no, pero ésa es otra historia). Menos mal, ya que de lo contrario el símbolo '$p(x)$' no podría designar al conjunto de *todas* las propiedades de x.

5. Estatus de las propiedades

5.1. La realidad de las propiedades

Hemos considerado tácitamente que todas las propiedades sustanciales son reales, aunque no de manera independiente o en sí mismas, o sea, no aparte de los individuos que las poseen. Más precisamente, hemos utilizado de manera implícita la

DEFINICIÓN 2.17 Una propiedad P es *real* $=_{df}$ Hay al menos un individuo $x \in S$, diferente del individuo nulo, que posee P (de manera equivalente: $\mathcal{S}(P) \neq \varnothing$).

Esta definición no sólo es válida para las propiedades intrínsecas (representadas por predicados unarios), sino también para las propiedades mutuas (representadas por predicados n-arios). Por consiguiente, decir que cierta relación R es real equivale a decir que existen entidades o individuos concretos R-relacionados. (Cf. Bolzano, 1837, Sección 80.5). No asignamos mayor importancia o grado de realidad a las propiedades intrínsecas que a las mutuas. En consecuencia, una propiedad mutua como la interacción gravitatoria (o cierta acción mutua padre-hijo) es tan real como una propiedad intrínseca tal como la composición (sea ésta química o social).

Sin duda, la perspectiva anterior no es la única posible. Esencialmente, se han propuesto las siguientes doctrinas respecto de la realidad de las propiedades:

(ia) *Las propiedades –sean intrínsecas, sean mutuas– son reales, no meramente reales sino supremamente reales, y los individuos sólo las ejemplifican.* (Esto generaliza la doctrina original de las formas –todas las cuales son unarias– de Platón). Esta perspectiva es insostenible, ya que una propiedad es nula a menos que la posea un individuo. Piénsese, especialmente, en una propiedad mutua representada por un predicado binario R. La extensión de R es el conjunto de pares ordenados $\langle x, y \rangle$, tal que x tiene la relación R con y. Si la extensión es vacía, es decir, si R no tiene ejemplos, R es la relación nula, la que no tiene lugar.

(ib) *Mientras que las propiedades intrínsecas son reales, las propiedades mutuas no lo son.* Esta tesis parece encontrar apoyo en la lógica y la gramática antiguas, a causa de su insistencia en que todos los predicados son unarios. A su vez, esta opinión puede surgir de una tendencia espontánea a ocuparse de las cosas de manera aislada, en lugar de considerarlas inmersas en sus relaciones mutuas. Fue defendida con vehemencia por Bradley (1893) y todavía tiene defensores entre aquellos filósofos que sostienen que, por ejemplo, «Al sur de la frontera canadiense» es una «propiedad espuria». La tesis ha sido revivida, en tiempos recientes, con la forma de la propuesta de dividir una relación o arco de grafo, en dos semiarcos y una conexión o pegamento, desde luego, sin ningún intento de caracterización matemática de ninguno de sus supuestos componentes (Harary, 1971). De más está decir que la tesis es indefendible y que, si se la adoptase, destruiría la ciencia, la cual consiste en gran medida en una empresa de desvelar relaciones. Además, tornaría muy poco interesante a la metafísica, dado que nos forzaría a concebir la realidad no como un agregado de sistemas, sino como una mera colección de individuos desconectados. Esto linda con

(ii) *Todas las propiedades, sean intrínsecas o mutuas, son irreales: sólo son reales los individuos*. Ésta es, por supuesto, la tesis nominalista y es el opuesto exacto de la tesis platónica generalizada (ia). Según ella, una propiedad, si es intrínseca, es idéntica a la colección de individuos y, si es mutua, no es más que una colección de n-tuplas ordenadas. Esta opinión es errónea: los ejemplos de una relación, vale decir, las n-tuplas individuales, se caracterizan por estar relacionados. Los miembros de la relación constituyen la extensión o grafo de la relación, no la propia relación. (Más contra la identificación extensionalista de los predicados con los conjuntos en la Sección 1.2, Capítulo 4, del Volumen 1 y en la Sección 1.2, Capítulo 10, del Volumen 2).

(iii) *Ni las propiedades ni los individuos son reales de forma independiente*. Algunos individuos y algunas propiedades constituyen las cosas, sus estados y sus cambios de estado, que son las únicas realidades. Lo que es real en el hecho de que la *cosa b tire de la cosa c*, no es ninguno de los tres elementos por separado, sino el hecho como totalidad. Sólo en la matemática pura se encuentran (o, mejor dicho, se crean) individuos carentes de toda relación, a saber, los miembros de conjuntos sin estructura. Y, una vez más, sólo en la matemática pura es posible sostener que o bien los individuos o bien las relaciones (especialmente las funciones) constituyen los objetos básicos a partir de los cuales se construye todo lo demás. En consecuencia, la teoría de conjuntos asume la perspectiva de que los individuos y las colecciones de ellos son básicos, y todo lo demás es reducible a ellos; y la teoría de categorías comienza, en cambio, a partir de las funciones que los individuos satisfacen. Ninguno de estos puntos de vista vale en la ontología: aquí debemos considerar a los individuos, así como a sus propiedades, otras tantas abstracciones. La cosa real es el individuo sustancial con todas sus propiedades intrínsecas y mutuas. Todo lo demás es ficción. No es necesario decir que defendemos esta tercera posición, ni que lo hacemos sobre la base de que es la propia de la ciencia. En efecto, a la ciencia no le son útiles ni los individuos carentes de propiedades ni las propiedades que no lo sean de individuos concretos.

Lo que vale para las relaciones en general, vale también para las polaridades o relaciones entre opuestos polares, tales como la fuente y el sumidero. Un polo es un constituyente de una polaridad, la cual, a su vez, es una relación de grado par, tal como una interacción binaria entre partículas que sólo difieren en el signo de su carga eléctrica. Por definición, los polos se presentan en pares o, más generalmente, en 2 *n*-tuplas: los monopolos no existen. (La expresión 'monopolo eléctrico' que se aplica a un cuerpo cargado eléctricamente es poco feliz). En consecuencia, se trata de un error afirmar que la existencia de un único polo hace posible la de su compañero (Stiehler, 1967, pp. 15, 17). Sin embargo, no daremos mucha importancia a la polaridad –un escollo de la metafísica arcaica– porque la mayoría de las polaridades son imaginarias: de hecho, la mayor parte de ellas no son pares de opuestos y otras surgen de la reificación de la negación. Por consiguiente, cantidad-cualidad, uno-muchos, sujeto-objeto, apariencia-realidad y mente-cuerpo no son pares de opuestos, sino de diferentes. Otros, como ser-nada, identidad-diferencia y casos semejantes son pares genuinos de opuestos, pero no tienen estatus óntico. En efecto, no ser no se opone a ser, salvo desde el punto de vista lógico, por lo cual no pueden luchar salvo de manera metafórica. Asimismo, la oposición entre identidad y diferencia es conceptual y no una «lucha de los opuestos». En ambos casos, la confrontación es estrictamente lógica: *A* «versus» no-*A*. Lo cual nos lleva a la importante diferencia entre dos tipos de relación: vinculante y no vinculante.

La relación de ser mayor (o más viejo, más rico o peor) es «externa» a los miembros de la relación [o relata], en el sentido de que no los modifica ni hace nada por mantenerlos juntos o siquiera separados. Lo mismo ocurre con todas las relaciones espaciotemporales, tales como las de contigüidad, estar entre, precedencia y simultaneidad: no afectan a sus relata. En general, todas las relaciones comparativas (de orden) y todas las relaciones de equivalencia son de este tipo, esto es, no vinculantes. Éste no es el caso del enlace de hidrógeno, de una relación de servidumbre económica o una de influencia cultural: éstas sí «marcan una diferencia» para los individuos relacionados de tales modos: son, en cierta forma, «internas» a ellos. Esta distinción, ignorada por Hume y sus seguidores, fue advertida por Peirce (c. 1909, 6.318), quien escribió acerca de las «relaciones existenciales» o conexiones en contraste con las meras relaciones. También las apreciaban Whitehead (1929) y Woodger (1929), quienes las llamaban 'relaciones orgánicas', aunque también tienen lugar entre las partes de una máquina.

Las relaciones vinculantes, vale decir, aquellas que «marcan una diferencia» para los miembros de la relación, se pueden caracterizar del siguiente modo. Dos entidades $x, y \in S$ están *vinculadas* (o *conectadas* o *acopladas*) sii a algunos cambios en x acompañan (preceden o siguen) algunos cambios en y. Esto debe considerarse una dilucidación preliminar, ya que todavía no disponemos de un concepto exacto de cambio. (Véase la Sección 4.1 del Capítulo 5). Con todo, la caracterización previa bastará para llamar la atención sobre los dos tipos principales de propiedad sustancial mutua y evitar algunos errores.

Un error que surge de pasar por alto la distinción anterior se refiere a la relación entre estar conectado y ser parte. Pero ésta es un tipo muy especial de conexión, para el cual la superposición es suficiente, pero no necesaria. Por consiguiente, pese a lo afirmado por Leonard & Goodman (1940) y Feibleman & Friend (1945), las cosas no necesitan estar superpuestas para acoplarse. Por ejemplo, el señor feudal y su siervo están relacionados sin tener ninguna parte en común. Otro error del cual merece la pena advertir al lector consiste en la creencia de que, puesto que la lógica no discrimina entre relaciones vinculantes y no vinculantes, se le deben añadir predicados ónticos o físicos (Lewis, 1946, pp. 218 y ss.). Esto no es necesario: podemos tomar del almacén cualquiera de los predicados n-arios listos para usar que hay en la lógica (y en la matemática) y dotarlo de la interpretación ontológica adecuada. En general no es aconsejable intentar completar la lógica con ontología: estas dos disciplinas tienen objetivos y métodos muy diferentes, y una sola lógica debe subyacer a todas las variedades de ontología.

5.2. Crítica del platonismo

La doctrina platónica de las propiedades es, en pocas palabras, la siguiente: *(a)* la forma existe por sí misma, es ideal y externa a la materia y *(b)* la forma precede a la materia y puede asumir la individualidad o realizarse (ejemplificarse) en particulares. En consecuencia, se dice que una cosa blanca «participa» de la Blancura universal o, como aún gustan de expresarlo los profesores de lógica, un individuo blanco *instancia* el predicado de Blancura. (Aristóteles corrigió esta doctrina negando la autonomía de las formas y sosteniendo que la materia desarrolla la forma pero, para él, la sustancia sin forma era real, no sólo la ficción útil que es para nosotros). Esta teoría de las formas se mantiene en diversos estudiosos contemporáneos. En tanto que unos pocos (especialmente, Castañeda, 1974) son platónicos declarados, la mayoría de ellos se sorprendería de saber que, de las enseñanzas de Platón, han adoptado la de peor reputación. He aquí unos cuantos ejemplos de platonismo, tomados al azar de publicaciones recientes.

(a) El biólogo Paul Weiss (1963) invoca un «principio» superordenador que flota sobre las moléculas que componen la célula, y la regula.

(b) E. W. Sinnot (1963, p. 194), otro biólogo, escribe que «[l]a forma consta de relaciones entre partículas o patrones ordenados de ellas. (…) Se trata de una categoría del ser muy diferente a la materia, ya que no es la naturaleza misma de las partículas materiales la que está involucrada, sino cómo se relacionan éstas entre sí. La forma puede aparecer o desaparecer, según el orden se rinda al azar o se imponga nuevamente, pero la materia (en su sentido más amplio, como materia-energía) es conservativa y se mueve hacia la uniformidad y la máxima entropía».

(c) El premio Nobel Werner Heisenberg (1969, pp. 324-325) afirma: «"En el principio fue la Simetría", esto es sin duda más verdadero que la tesis democrítea "En el principio fue la partícula". Las partículas elementales encarnan las simetrías, son las representaciones más simples de éstas, pero son sólo una consecuencia de las simetrías».

(d) El filósofo U. J. Jensen (1972) ha afirmado que los fenómenos mentales no son particulares sino universales y, por ende, inconmensurables.

Una opinión emparentada es que las propiedades constituyen las cosas, en lugar de estar separadas de ellas: una cosa sería un manojo de cualidades y, por consiguiente, un sustantivo podría descomponerse en un grupo de adjetivos. Esta perspectiva, una doctrina de la forma completamente monista, ha sido sostenida por los siguientes pensadores contemporáneos:

(a) Russell (1940, p. 98) escribió: «El sentido común considera que la "cosa" posee cualidades, pero no que éstas la definen, que lo que la define es su posición espaciotemporal. Deseo sugerir que, dondequiera

que lo haya, en lugar de suponer con el sentido común que una "cosa" posee la cualidad *C*, debemos decir que *C* existe ella misma en ese sitio y que la "cosa" ha de reemplazarse por la colección de cualidades que existen en el lugar en cuestión. En consecuencia, "*C*" se transforma en un nombre, no en un predicado».

(b) A. I. Ujomov (1965, p. 17) sostiene que «[l]a cosa es un sistema de cualidades». Y las partes de una cosa no son partes del espacio, sino «partes de un sistema de cualidades» (p. 18).

(c) G. Falk (1966, I, p. 77): «Un cuerpo que se mueve a velocidad v, según la dinámica, no es más que cierto impulso p y cierta cantidad de energía $\varepsilon = \varepsilon(p)$ que son transportados a través del espacio con velocidad v». (Pásese por alto la herejía de identificar una función con un valor arbitrario de ella).

(d) H. Hiż (1971) también ha afirmado que una entidad se puede identificar con el conjunto de sus propiedades y, además, que «un individuo puede considerarse el conjunto de propiedades de un individuo», con perdón de la circularidad.

Tanto la doctrina platónica de las formas como la perspectiva de que las cosas son manojos de cualidades son un embrollo y, en consecuencia, ninguna de ellas se puede formular de manera exacta. Las formas orgánicas son formas *de* los organismos; las simetrías de partículas y campos son simetrías de propiedades *de* cosas (por ejemplo, de sus hamiltonianos o de sus leyes básicas); una clase de fenómenos mentales es una clase de fenómenos mentales *individuales*; una cosa se *caracteriza* por intermedio de sus propiedades, pero no se identifica con las mismas ni se define mediante éstas, aunque sólo fuera porque hay otras cosas que comparten algunas de sus propiedades; y un conjunto de propiedades puede utilizarse para bosquejar o modelizar una cosa, pero no la *sustituye*. En resumidas cuentas, prestemos atención a la exhortación de Ockham: *no separar las formas de los particulares*. Por ejemplo, no hablar del Movimiento, sino de las entidades que se mueven (o, si se utiliza el concepto de movimiento, interpretarlo como el conjunto de las cosas que se mueven). Asimismo, no hablemos de la Vida, sino de los seres vivientes, ni de la Mente, sino de los seres sensibles y pensantes, y así sucesivamente. Primero, porque no hay ni una pizca de prueba empírica a favor de la hipótesis de que las formas sean separables de sus portadores. Segundo, porque toda propiedad se conceptúa como una función definida sobre un conjunto de entidades. (Recuérdese el Postulado 2.1 de la Sección 2.1).

5.3. El problema de los universales

El problema de los universales se reduce a las siguientes preguntas: ¿qué son los universales? y ¿cómo existen, si es que existen? Este problema tiene una apariencia bastante diferente en la actualidad a la que tenía en la Edad Media. En efecto, hemos llegado a darnos cuenta de que, antes de apresurarnos a proponer una respuesta, tal como que los universales existen *ante rem* (platonismo), *in re* (aristotelismo) o *post rem* (nominalismo), debemos aclarar la propia pregunta. Para ello, definiremos el concepto de universal –o, mejor dicho, dos conceptos de universal– en concordancia con el dualismo metodológico que hemos adoptado en el Capítulo 1 y que consiste en dividir todo conjunto de objetos en entidades (S) y constructos (C). Efectivamente, distinguiremos los *universales sustanciales*, o propiedades ampliamente difundidas de las entidades, de los *universales conceptuales*, entre ellos los predicados que representan esas propiedades. Esta distinción se introduce de manera explícita en la

DEFINICIÓN 2.18 Sea $A \in \mathbb{A}$ un atributo, $P \in \mathbb{P}$ una propiedad y T un conjunto. Luego,

(i) A es un *universal (conceptual)* en el conjunto T de constructos sii la extensión de A es igual a T:

$$A \text{ es } \textit{universal} \text{ en } T =_{df} \mathscr{E}(A) = T,$$

(donde la función de extensión está definida en el Capítulo 9 del Volumen 2 de este *Tratado*);

(ii) P es un *universal* (*sustancial*) en el conjunto $T \subset S$ de entidades sii el alcance de P es igual a T:

$$P \text{ es } \textit{universal} \text{ en } T =_{df} \mathscr{S}(P) = T.$$

Entonces, estas nociones de universal están relativizadas al conjunto de objetos. Y dado que nada se dice acerca de la numerosidad de este conjunto, la definición anterior no nos permite distinguir un universal «genuino», tal como ser mujer, de una idiosincrasia tal como ser el vigésimo presidente de México. Desde luego, se podría intentar mejorar esta situación introduciendo un concepto cuantitativo de grado de universalidad. Un candidato apropiado para los conjuntos finitos sería la función caracterizada por la

DEFINICIÓN 2.19 Sea $P \in \mathbb{P}$ una propiedad concreta y $T \in \mathcal{P}(S)$ un conjunto finito no vacío de individuos concretos. Luego, el *grado de universalidad* de P en T es el valor de la función

$$u: \mathbb{P} \times \mathcal{P}(S) \to [0, 1] \text{ tal que } u(P, T) = \frac{|\mathcal{S}(P)|}{|T|},$$

donde $|A|$ designa la numerosidad de A.

Este concepto nos permitiría superar la primitiva dicotomía de lo universal y lo particular. Con todo, este concepto más refinado no resuelve el problema ontológico y gnoseológico de los universales. Para comenzar, las llamadas *propiedades formales de las cosas*, tales como el número y la forma, parecen ser universales conceptuales completos inherentes a las entidades concretas y, en consecuencia, parecen desafiar la dicotomía supuesta en la Definición 2.18. Así pues, la numerosidad es una propiedad de toda colección, sea cual fuere la naturaleza de sus componentes. Es cierto, pero un conjunto es un concepto. Sin duda, los perros tienen normalmente cuatro patas y ésta es una propiedad sustancial de ellos. La propiedad matemática correspondiente es la numerosidad del conjunto de patas de un perro. En otras palabras, el tener cuatro patas es una propiedad sustancial que debe distinguirse de la propiedad matemática del conjunto de patas de un cuadrúpedo. La relación entre el predicado y la propiedad correspondiente es la de representación: el primero representa la segunda en el caso en cuestión. Asimismo, cuando decimos que la historia de una persona es ininterrumpida, no asignamos a la persona una propiedad formal, sino que escogemos la propiedad matemática de continuidad (un universal conceptual) para representar la lisura (o ausencia de lagunas) en la secuencia de estados de una entidad. Para resumir, no son las cosas sino nuestros modelos de ellas los que poseen propiedades matemáticas y esto es así porque conceptuamos las propiedades concretas como funciones. Este modo de representación está tan profundamente arraigado en nuestros hábitos de pensamiento que con frecuencia confundimos el representante con los representados.

En la disputa medieval sobre los universales, parece que tanto los «realistas» (platónicos) como los nominalistas pensaban únicamente en los universales conceptuales. En ese contexto nos hubiésemos puesto del lado de Ockham (ca. 1320, I, C.XVI): «nada es universal, excepto por su significado, por ser un signo de varios signos». El universal conceptual «humanidad»[#] [*humanity*] no está en el individuo Sócrates, sino en nuestra idea de él. Desde luego, Sócrates es humano: posee una propiedad que es universal en la clase de los seres humanos. Esto es lo que respondieron los aristotélicos: la humanidad[##] [*humanness*], como universal sustancial, «es propia» de todo ser humano. (En nuestra terminología: el alcance de la propiedad sustancial humanidad [*humanness*] es la humanidad o género humano[###] [*mankind*]). En resumen, los universales sustanciales (las propiedades y, en particular, las leyes) son *in re*. En cambio, los universales conceptuales (los predicados) son *entia rationis*: son *post rem* si representan universales sustanciales preexistentes al conocimiento y *ante rem* si se adelantan a la experiencia o a la acción.

Nuestras teorías de la sustancia (Capítulo 1) y de la forma (este capítulo) nos permiten ver otro aspecto del problema de los universales bajo una luz diferente; a saber, la dicotomía particular/universal. Antes de nada, cuando es legítima, esta dicotomía es conceptual, no real: el mundo no contiene ni particulares indiferenciados ni formas puras. Sustancia y forma, individual y universal, son distintos aspectos de nuestro análisis conceptual y de la modelización teórica de las cosas y los hechos. Al carecer de existencia independiente, no son reducibles los unos a los otros. O sea, los universales no son colecciones de particulares (reducción nominalista) ni los particulares son manojos de universales (reducción «realista»). Aunque no está muerta *de facto*, la controversia nominalismo-«realismo» sí tiene un final *de jure*: ninguno de los contendientes tenía toda la razón, porque cada uno de ellos prestaba atención únicamente a un aspecto del problema, ignorando el otro. Además, hacemos justicia a cada bando representando cada propiedad sustancial mediante un predicado e interpretando éste como una función que aplica individuos a enunciados.

La dicotomía individual/universal, válida y tan útil en la lógica de

[#] «*Humanity*», como la palabra castellana «humanidad», designa tanto la cualidad (o cualidades) de ser humano como la colección de todos los seres humanos. [N. del T.]

[##] El conjunto de cualidades propias de los seres humanos. [N. del T.]

[###] La colección de todos los seres humanos. [N. del T.]

primer orden, puede colapsar en otros ámbitos. *Ejemplo 1* Los conjuntos no son ni individuales ni universales, a menos que se presenten como miembros de una colección de conjuntos, en cuyo caso se tornan individuos sin que por ello la familia sea un universal. (Un conjunto no vacío está constituido por individuos, pero esto no lo convierte en un universal, mucho menos en un individuo). Sin embargo, algunos conjuntos están determinados o definidos por (predicados) universales mediante la función de alcance o el principio de abstracción. *Ejemplo 2* Algunos «universales», tales como «el conjunto contenido en todo conjunto», están ejemplificados por un único objeto (en este caso, el conjunto vacío). ¿Por qué llamarles 'universales' si son singulares? *Ejemplo 3* Un mismo objeto se puede considerar ora un individuo, ora un conjunto (o una colección concreta). No hay nada definitivo en ser un individuo. *Ejemplo 4* Decir que *b* es un individuo no basta: ¿cuáles son las propiedades de *b*? Y decir que *P* es una propiedad resulta tan pobre como en el caso anterior: ¿a qué individuos se aplica *P*? Vale decir, ¿cuál es su alcance?

El resultado de las reflexiones anteriores es el siguiente: el platonismo no es una metafísica más viable que el nominalismo. Se podría objetar que, si bien es inadecuada como ontología de individuos concretos, el platonismo es la filosofía correcta de la matemática, porque «la matemática no necesita no-clases, tales como vacas y moléculas; todos los objetos y relaciones matemáticos se pueden formular en términos de clases, únicamente» (Mendelson, 1963, p. 160). En ocasiones se afirma que ésta es la razón por la cual la versión de la teoría de conjuntos de Neumann-Bernays-Gödel sólo se ocupe de clases y conjuntos. Con todo, *(a)* el predicado básico de esta teoría, o sea la relación de pertenencia, no se considera una clase y *(b)* los individuos de la teoría son, precisamente, conjuntos y clases (tal como ha señalado Bernays, 1937). Además, aun en la matemática pura, necesitamos propiedades en el preciso momento en que nos interesamos por los conjuntos particulares, es decir, por caracterizarlos, en lugar de tratarlos de manera indiscriminada (o sea, en general), como hace la teoría de conjuntos. Piénsese en la caracterización de, por ejemplo, el interior de un círculo de un radio dado, sin mediar la utilización de ningún predicado. Por último, incluso si un día los matemáticos tienen éxito en hacer matemática utilizando clases, únicamente, es probable que los metafísicos continúen usando las nociones de individuo y propiedad, aunque sólo fuese porque ambas son esenciales para la ciencia: la investigación científica supone averiguar las propiedades de los individuos. Ni siquiera la más sofisticada de las reconstrucciones de una teoría científica podría sustituir las propiedades por las clases, aunque sólo fuera porque diferentes propiedades pueden tener el mismo alcance. Tampoco conseguiría eliminar los individuos, porque las propiedades lo son de individuos o de conjuntos de ellos.

6. Comentarios finales

En resumidas cuentas, sólo hay un universo [o mundo], que denotamos ▯, y está compuesto por entidades o individuos sustanciales, es decir, por miembros del conjunto *S* que introdujimos al comienzo (Capítulo 1). Toda entidad es o bien simple o bien compuesta. Y toda entidad tiene cierto número de propiedades, además de su composición. Por ejemplo, un trozo de cobre, vale decir, una entidad compuesta por átomos de Cu, es maleable, brillante, se funde a 1083°C, es buen conductor de la electricidad, es bastante escaso, su mineral es codiciado por todas las potencias industriales y así sucesivamente. Éstas son propiedades sistémicas, de tipo no hereditario o emergente; en cambio, tener masa y ser capaz de moverse son propiedades hereditarias de un trozo de cobre, vale decir, propiedades compartidas por sus componentes atómicos.

A las propiedades sustanciales también podemos llamarlas propiedades *físicas*, en el sentido más amplio posible de 'físicas' y en oposición a un elemento conceptual, tal como un atributo o predicado. Por consiguiente, ser plumoso debe distinguirse de los atributos o conceptos que representan el tener plumas o el carecer de ellas. Primero, porque toda propiedad puede representarse mediante, al menos, un atributo. Segundo, porque algunos atributos (en particular los negativos y los disyuntivos) no representan ninguna propiedad concreta.

Más aún, no hay propiedades o formas flotando sobre los individuos sustanciales: sólo hay entidades que tienen propiedades; por ejemplo, animales con plumas. Y las propiedades, lejos de presentarse aisladas o en bandadas amorfas, forman grupos y se arrastran entre sí. O sea, cada propiedad es o bien necesaria o bien suficiente para otras propiedades de la misma entidad. Vale decir, hay leyes. Y estas leyes son propiedades complejas de entidades o, mejor dicho, de clases íntegras. Tanto es así que determinan clases naturales. Pero éste es un tema del próximo capítulo.

Capítulo 3

La cosa

Hasta el momento nos hemos ocupado principalmente de ficciones: entidades despojadas de la mayoría de sus propiedades y formas sin materia definida. Sin embargo, ya advertimos que se trataba de ficciones y anticipamos que nos permitirían construir la noción de cosa real como individuo con todas sus cualidades. Esto es, en efecto, lo que un objeto concreto o material, tal como una onda de radio, una persona o una sociedad, es: una entidad dotada de la totalidad de sus propiedades, tanto intrínsecas como mutuas, permanentes y transitorias.

En este capítulo profundizaremos nuestro estudio del concepto de individuo sustancial e investigaremos especialmente los siguientes problemas. Uno de ellos trata de la caracterización de los estados de una cosa. Utilizaremos los resultados de esta investigación en nuestro tratamiento del problema del cambio en general, que abordaremos en el Capítulo 5. Otra pregunta de la cual nos ocuparemos en este capítulo es la siguiente: ¿qué agrupa a las cosas diferentes en clases naturales o especies?

Sin duda, los objetos que nos interesan «existen en el espacio y en el tiempo», como quiere la obsoleta fórmula. (En el Capítulo 6 argumentaremos a favor de que las cosas concretas constituyen el espacio y el tiempo). Sin embargo, todavía desatenderemos todas las características espaciotemporales de las cosas, a las cuales prestaremos atención en el Capítulo 6. Además, no particularizaremos ninguna propiedad, es decir, nuestro concepto de objeto concreto o cosa será válido para una comunidad tanto como para un electrón. Finalmente, dejaremos para el Capítulo 7 del Volumen 4 el estudio de las cosas particulares conocidas como sistemas. De hecho, nuestra definición de sistema utilizará la noción de cosa que pasaremos a dilucidar.

1. Cosa y cosa modelo

1.1. Cosa: definición

Estipularemos que una cosa es una entidad o individuo sustancial (Capítulo 1) dotado de todas sus propiedades (sustanciales) (Capítulo 2). Como se recordará (Definición 2.3, Sección 3.2 del Capítulo 2) llamábamos

$$p(x) = \{P \in \mathbb{P} \mid x \text{ posee } P\}$$

a la totalidad de las propiedades de un individuo sustancial $x \in S$, donde $\mathbb{P}$ es la colección de propiedades unarizadas sustanciales (no conceptuales).

Se recordará también que si bien identificamos o descubrimos un individuo sustancial cualquiera mediante sus propiedades, resulta imposible definir una entidad como el conjunto de sus propiedades, aunque sólo fuese porque la expresión 'La entidad $p(x)$ posee la propiedad P que es miembro de $p(x)$' es absurda. Una última advertencia: aunque por lo general un subconjunto propio de $p(x)$ bastará para *distinguir* a x de otras entidades, nada que no sea la totalidad $p(x)$ de las propiedades de x *constituirá* e *individuará* a x, es decir, lo hará ónticamente distinto de toda otra entidad. En realidad, por el Postulado 2.5 y su corolario (Sección 3.2 del Capítulo 2), lo que hace a una cosa lo que es, vale decir, un individuo distinto, es la totalidad de sus propiedades: los individuos diferentes no comparten algunas de sus propiedades.

Las reflexiones anteriores sugieren la introducción de la

DEFINICIÓN 3.1 Sea $x \in S$ un individuo sustancial y llamemos $p(x) \subset \mathbb{P}$ a la colección de sus propiedades (unarizadas). Luego, el individuo junto con sus propiedades se llama *cosa* (u *objeto concreto*) X:

$$X =_{df} \langle x, p(x) \rangle.$$

Cuando nos refiramos a una entidad con todas sus propiedades, vale decir, a una cosa, escribiremos a menudo '$X \in \Theta$' o, simplemente, '$x \in \Theta$', expresión en la cual Θ está caracterizada por la

DEFINICIÓN 3.2 Llamaremos Θ a la *totalidad de las cosas*:

$$\Theta =_{df} \{\langle x, p(x)\rangle \mid x \in S \,\&\, p(x) \subset \mathbb{P}\}.$$

Este concepto de cosa sintetiza las nociones de sustancia y forma estudiadas en los Capítulos 1 y 2 respectivamente. Desde luego, podríamos haber procedido en el orden inverso, es decir, comenzando a partir de las cosas y analizándolas en términos de individuos indiferenciados y manojos de propiedades. Pero esta alternativa habría violado la norma que nos exhorta a construir a partir de unidades simples y hubiera interrumpido la línea de desarrollo que intentamos seguir.

Se podría objetar que, puesto que un par ordenado se define a menudo como un conjunto de conjuntos, a saber, del siguiente modo: $\langle a, b\rangle = \{\{a\}, \{a, b\}\}$, nuestra definición de cosa no recupera la idea de que una cosa es un particular. Sin embargo, es sabido que no es necesario analizar o definir un par ordenado como un conjunto, sino que se lo puede caracterizar como un individuo que satisface el axioma único:

$$\langle a, b\rangle = \langle a', b'\rangle \text{ si y sólo si } a = a' \text{ y } b = b'.$$

Además, no tiene por qué haber semejanzas entre una definición y la cosa definida. Después de todo, la Definición 3.1 caracteriza un concepto de cosa, en lugar de ser la «definición real» de cosa. Más sobre esto en la Sección 1.3. Y ahora nos ocuparemos de algunos supuestos y unas cuantas definiciones más.

1.2. Supuestos

Nuestro primer supuesto será que hay cosas y, ciertamente, que hay una infinitud de ellas y, más aún, todo un continuo de ellas:

POSTULADO 3.1 La totalidad Θ de las cosas es un conjunto incontable.

Comentario 1 Desde el punto de vista matemático, hubiera sido más natural postular la numerosidad del conjunto S de individuos indiferenciados introducido en el Capítulo 1. La de Θ se hubiese seguido de ello, a causa de la correspondencia uno a uno entre los dos conjuntos. Pero dado que los individuos indiferenciados son ficticios, desde el punto de vista metafísico pareció preferible hacer la cantidad mínima posible de suposiciones acerca de ellos. *Comentario 2* Que en este punto es necesario afirmar o negar de manera explícita una hipótesis de existencia queda probado por la existencia del idealismo subjetivista, según el cual sólo existen los estados mentales o, en una versión reciente, las proposiciones (Fitch, 1971). *Comentario 3* Otra razón para tener que postular la existencia de las cosas es que si deseamos demostrar algo acerca de los existentes, primero debemos postularlos. No podemos demostrar la existencia de las cosas concretas, del mismo modo que no podemos demostrar la existencia de las deidades o las mentes incorpóreas. Lo que sí se puede demostrar es que, si no hubiera cosas serían imposibles otros ítems, tales como actuar sobre ellas y estudiarlas. *Comentario 4* Que la hipótesis $\ulcorner \Theta \neq \varnothing \urcorner$ es verdadera, lo sugiere el hecho de que todas las ciencias fácticas la adoptan de manera tácita: lejos de dudar de la existencia de las cosas, dan por supuestas algunas de ellas, hipotetizan otras y las investigan a todas. *Comentario 5* Que la infinidad de cosas no es numerable, lo sugiere la existencia de los continuos físicos, tales como los campos gravitatorios, la totalidad de cuyas partes también son campos. Incluso si el mundo estuviese compuesto por una única partícula rodeada por su propio campo gravitatorio, contendría una infinidad no numerable de cosas, a saber, todas las partes del campo, el cual, según nuestro conocimiento actual, es infinitamente divisible. Pero, por supuesto, un mundo así no tendría partes separables. *Comentario 6* La cuantización de un campo no modifica la situación: no es el propio campo sino los cuantos los que son numerables. Y hasta en ausencia de cuantos, permanece un campo residual o de fondo, a saber, el que corresponde al estado de vacío. (El cual no es nulo). *Comentario 7* La existencia postulada de una infinidad no numerable de cosas es compatible con la controvertida hipótesis de que tales cosas están organizadas en un número finito de sistemas, la única posibilidad de que el universo sea espacialmente finito. Pero no nos comprometeremos aquí en lo referente a este asunto que, de todas formas, pertenece al Capítulo 6. En el ejemplo hipotético mencionado en el Comentario 5, el sistema es, desde luego, la partícula única acompañada por su campo gravitatorio.

Tras haber definido el concepto de cosa (Definición 3.1) definiremos a continuación el de *yuxtaposición* o suma física de cosas:

DEFINICIÓN 3.3 Sean $X = \langle x, p(x)\rangle$ e $Y = \langle y, p(y)\rangle$ dos cosas. Luego, la yuxtaposición de X e Y es la tercera cosa

$$Z = X \dotplus Y = \langle x \dotplus y, p(x \dotplus y)\rangle.$$

Adviértase que no suponemos que las propiedades del todo son todas las propiedades de las partes y solamente éstas, vale decir, que $p(x \dotplus y) = p(x) \cup p(y)$. Este supuesto sería falso, aunque sólo fuese porque el compuesto $x \dotplus y$, para $x \neq y$, posee la propiedad de estar compuesto por x e y, de la cual sus partes carecen.

A continuación, propondremos que la teoría de asociación expuesta en la Sección 1 del Capítulo 1 también es aplicable a las cosas, y utilizaremos el símbolo '$\dotplus$' para denotar la asociación o yuxtaposición de cosas. Más precisamente, estableceremos el

POSTULADO 3.2 Sean Θ la totalidad de las cosas, $\square$ un elemento distinguido de Θ y $\dotplus$ una operación binaria asociativa en Θ. Luego, por convención, vale lo siguiente:

(i) $\langle \Theta, \dotplus, \square\rangle$ es un monoide conmutativo de idempotentes, para todo x, y, z en Θ, $x \dotplus y = y \dotplus x$, $x \dotplus (y \dotplus z) = (x \dotplus y) \dotplus z$, $x \dotplus x = x$, y $x \dotplus \square = \square \dotplus x = x$;

(ii) $\dotplus$ representa la asociación o yuxtaposición de cosas;

(iii) la sarta $x_1 \dotplus x_2 \dotplus \ldots \dotplus x_n \in \Theta$, en la cual $n > 1$, representa la cadena de cosas x_1 a x_n;

(iv) el elemento neutro $\square$ del monoide es la cosa nula o no entidad, es decir, no es una cosa propiamente dicha.

Podemos recuperar para las cosas todo lo que hemos definido o demostrado para los individuos indiferenciados (o cosas despojadas de sus propiedades, con excepción de la propiedad de asociación y las propiedades derivadas de la asociabilidad, tales como la composición). En particular, podemos formular la

DEFINICIÓN 3.4 Sean $x, y \in \Theta$ cosas. Luego, x es una *parte* de y sii $x \dotplus y = y$. El símbolo de la relación parte-todo es $\sqsubset$.

Nuestro siguiente supuesto es el

POSTULADO 3.3 Existe una cosa tal que toda otra cosa sea parte de ella. Esa cosa es única y la llamaremos *universo* [o *mundo*] o ▯.

Dado que el mundo es una cosa y, por cierto, la cosa más grande de todas, $x \dotplus ▯ = ▯ \dotplus x = ▯$.

A causa de que la yuxtaposición $x \dotplus y$ incluye a x y a y como partes (por la Definición 3.4), tal yuxtaposición es el supremo de x e y con respecto a $\sqsubset$, o sea, $sup\{x, y\} = x \dotplus y$. Este comentario nos permite demostrar para las cosas el análogo del Teorema 1.4, a saber, el

TEOREMA 3.1 La totalidad de las cosas posee la estructura de semirretículo. Más precisamente, $\langle \Theta, \dotplus, \square, ▯ \rangle$ es un semirretículo con mínimo $\square$ y elemento último ▯.

La generalización de la noción de concatenación o yuxtaposición a un conjunto arbitrario $T \subseteq S$ es la de *sup* T. Pero la existencia de este elemento se debe suponer:

POSTULADO 3.4 Para todo subconjunto T de Θ, existe su supremo $[T]$.

Esta hipótesis nos permite convenir la

DEFINICIÓN 3.5 La *agregación* de un conjunto $T \subset \Theta$ de cosas –o, de forma abreviada, $[T]$– es el supremo de T con respecto a la relación parte-todo, es decir, la cosa tal que

(i) $x \sqsubset [T]$ para todo $x \in T$;

(ii) si $y \in T$ es una cota superior de T, $[T]$ precede a y: vale decir, si $x \sqsubset y$ para todo $x \in T$, luego la menor cota superior de $T = sup\ T = [T] \sqsubset y$.

Comentario Del mismo modo que el Postulado 3.2 contenía el enunciado de que toda asociación finita de cosas es una cosa (cláusula (iii)), la definición anterior nos dice, entre otras cosas, que toda asociación o yuxtaposición, sea finita o infinita, tiene por resultado una cosa. Ésta no es una trivialidad ontológica: los magos afirman ser capaces de crear cosas de la nada y aniquilar otras cosas. Y algunos filósofos emergentistas creen que de ciertos tipos de agregación surgen objetos que trascienden el mundo de las cosas.

Los supuestos y definiciones previos implican el

COROLARIO 3.1 Toda parte de una cosa es una cosa:

$$\text{Si } x \sqsubset y \text{ e } y \in \Theta \text{, luego, } x \in \Theta.$$

Demostración La relación parte-todo ha sido definida sólo para cosas –no, por ejemplo, para conceptos–, por lo que la aserción de que $x \sqsubset y$ es un reconocimiento tácito de que tanto x como y son cosas.

Comentario Este resultado no es evidente. Piénsese en la afirmación de que los constituyentes de los existentes corrientes no son cosas que existan de manera autónoma, sino el producto de ciertos actos cognitivos (tales como mediciones) realizados por los experimentadores con el auxilio de cosas de una clase especial (piezas de equipo).

Finalmente, enunciaremos una consecuencia del Corolario 3.1 y del Postulado 3.3:

COROLARIO 3.2 Toda parte del universo es una cosa:

$$\text{Para todo } x\text{: Si } x \sqsubset \square \quad \text{luego} \quad x \in \Theta.$$

De ello se sigue, por contraposición, que todo lo que no sea una cosa no es parte del mundo. Pero este asunto ya linda con la subsección siguiente.

Concluimos esta subsección con dos advertencias. La primera es que el mundo $\square = [\Theta]$ no posee todas las propiedades de cada una de sus partes: por ejemplo, no tiene espín, no interacciona con otras cosas, no está vivo ni tiene mente. En efecto, al utilizar las Definiciones 3.1 a 3.3 encontramos que

$$\square = \langle [S], p([S]) \rangle,$$

donde, según la advertencia que sigue a la Definición 3.3,

$$p([S]) \neq \bigcup_{x \in S} p(x)$$

La segunda advertencia es que el enunciado de que dos o más cosas forman un agregado que satisface el Postulado 3.2 es fáctico, vale decir, se refiere a asuntos de hecho. Sin embargo, esto no lo hace falsable. Si alguna de las clásulas del postulado –por ejemplo, la de conmutatividad– no se cumpliera, llegaríamos a la conclusión de que las cosas de interés no han formado un agregado, pero no a la conclusión de que el postulado ha sido refutado. (De manera equivalente: la cosa resultante no satisface nuestra definición axiomática de agregado). Por ejemplo, si un catalizador, tal como una enzima, actúa sobre dos reactivos diferentes, puede suceder que se una a mayor velocidad con uno de ellos que con el otro, de suerte que el orden en el que las tres cosas se unan influye en el resultado. Pero, desde luego, este orden es temporal, nada tiene que ver con la asociatividad.

1.3. Cosa y constructo

En los capítulos anteriores hemos distinguido objetos de dos clases: entidades sustanciales, o concretas, y constructos. Ha llegado el momento de pulir un poco esta distinción, tarea que retomaremos en la Sección 4.3. Para ello, comenzaremos esbozando el concepto de constructo, dejando su estudio en detalle a las ciencias de constructos: la lógica, la semántica y la matemática.

Fingimos que existen los constructos, vale decir, creaciones de la mente humana que debemos distinguir no sólo de las cosas (por ejemplo, las palabras), sino también de los procesos cerebrales individuales. (Pero no suponemos que los constructos existen de manera independiente de los procesos cerebrales). Distinguimos cuatro clases básicas de constructos: los conceptos, las proposiciones, los contextos y las teorías. Los conceptos, tales como la noción de cosa, son los ladrillos a partir de los cuales se construyen las proposiciones, tales como «Todas las cosas cambian», las cuales son, a su vez, los constituyentes de los contextos, tales como el conjunto de todas las proposiciones referentes a perros, así como de las teorías.

Básicamente, un concepto es o bien un individuo (tal como el "3" de la aritmética elemental) o bien un conjunto (tal como el conjunto de los números enteros) o bien una relación (tal como "<"). No nos ocuparemos aquí de la posibilidad de que alguna de estas categorías sea reducible a alguna otra. Las relaciones más interesantes son las funciones, las cuales son relaciones de muchos a uno o bien de uno a uno. Distinguiremos dos clases de función: proposicional y no proposicional. Una función proposicional, predicado o atributo, es una función que aplica un dominio de individuos (o n-tuplas de individuos) a un conjunto de proposiciones. (Recuérdese la Sección 2.1 del Capítulo 2). Una función no proposicional asume valores de un conjunto que no es un conjunto de proposiciones. (Sin embargo, es posible parear toda función no proposicional con una función proposicional. Por ejemplo, la función seno, que aplica números reales a números reales, es una función no proposicional a la cual es posible asignar la función proposicional

$$\text{Sen}: R \times R \rightarrow P, \text{ donde}$$
$$\text{Sen}(x, y) = (\text{sen } x = y), \text{ para } x, y \in \mathbb{R},$$

y *P* es el conjunto de todas las proposiciones que contienen el predicado Sen). Por último, un contexto es un conjunto de proposiciones que comparte la misma clase de referencia y una teoría es un contexto cerrado respecto de la operación de deducción. En resumen, tenemos la siguiente clasificación:

- Constructo
  - Concepto
    - Individuo
    - Conjunto
    - Relación
      - Funcional
        - Proposicional (atributo)
        - No proposicional (por ejemplo, numérica)
      - No funcional (por ejemplo, "<")
  - Proposición = valor de una función proposicional
  - Contexto
    - Cerrado (teoría)
    - Abierto

Los constructos no poseen todas las propiedades de las cosas. Por ejemplo, los conjuntos se suman y se intersecan, pero no se agregan ni se mueven, ni tienen energía ni eficiencia causal, entre otras propiedades. Los constructos, aun aquellos que representan cosas o propiedades sustanciales, poseen una estructura conceptual, no una material. En particular, los predicados y las proposiciones tienen propiedades semánticas, tales como el significado, que es una propiedad no física. Resumimos y extrapolamos:

POSTULADO 3.4 Todo objeto es o bien una cosa o bien un constructo, no hay ningún objeto que no sea o lo primero o lo segundo, así como ninguno es ambos extremos.

De forma equivalente: todo conjunto O de objetos se divide en dos conjuntos disjuntos, uno de cosas y otro de constructos. En el caso no trivial más simple, el conjunto O de objetos contiene solamente una cosa ϑ y un constructo, $\{\vartheta\}$. Vale decir, $\Theta = \{\vartheta\}$, $C = \{\{\vartheta\}\}$, $O = \{\vartheta, \{\vartheta\}\}$. Claramente, $\Theta \cap C = \varnothing$.

Los individuos sustanciales carentes de propiedades y las propiedades sustanciales separadas de las cosas individuales que las poseen, pertenecen a la categoría de los constructos. Asimismo, son ficciones –es decir, miembros de un C– todo cambio en las propiedades aparte de una cosa que cambia, así como todo cambio en un individuo aparte de un cambio en sus propiedades.

El Postulado 3.4 es un axioma de *dualismo metodológico*. No nos compromete con el dualismo metafísico: no afirmamos que haya dos clases de cosas, la *res extensa* y la *res cogitans* o cosas propiamente dichas e ideas. Consideramos que los constructos –sean útiles o inútiles, científicos o míticos– son ficciones, no entidades. En consecuencia, no son parte del mundo real, aun cuando participen en nuestras representaciones de éste.

Además, el postulado en cuestión implica que cada categoría de objetos, Θ y C, posee sus peculiaridades, pero no impide la posibilidad de que compartan algunas propiedades. Por ejemplo, algunos constructos se encadenan, como lo hacen las cosas, y muchas cosas son tan pensables como los constructos. Sin embargo, estas dos propiedades son mutuas, no intrínsecas. Las propiedades intrínsecas son propiedades bien de una cosa o bien de un constructo. En cambio, las propiedades mutuas (por ejemplo, las binarias) pueden enlazar cosas con constructos. Un ejemplo de propiedad mutua de este tipo es el de representación, tal como se presenta en el enunciado ⌜La proposición p representa la cosa b⌝.

La totalidad de los objetos no tiene más propiedad que la de ser la unión de las clases de las cosas y de los constructos. Por consiguiente, no se puede considerar la ontología como la teoría del objeto arbitrario o de todos los objetos: no hay nada que decir sobre O además de lo dicho. Esto no excluye la posibilidad de realizar largos discursos acerca de la capacidad de pensar sobre todos los objetos, ya que cuando hacemos esto utilizamos predicados binarios tales como «representa» o «pensamos acerca de» que no están sujetos a la mencionada limitación.

Otra consecuencia obvia de las reflexiones anteriores, es que los objetos concretos (cosas) no poseen propiedades conceptuales intrínsecas, en particular características matemáticas. Esta afirmación va a contracorriente del idealismo objetivo, desde Platón hasta Hegel y Husserl, según el cual todos los objetos, especialmente las cosas materiales, tienen características ideales tales como la forma y el número. Lo que sí es cierto es que, cuando se las separa de su referencia fáctica, algunas de nuestras ideas acerca del mundo se pueden tratar con herramientas matemáticas. (Por ejemplo, mediante el análisis y la abstracción, podemos extraer los constructos "dos" y "esfera" de la proposición particular «Esta esfera de hierro está compuesta por dos mitades»). En particular, la matemática nos ayuda a investigar (de manera matemática) la forma de las propiedades sustanciales. En resumen, no es el mundo sino algunas de nuestras ideas acerca de éste las que son matemáticas.

Todo constructo que viole el Postulado 3.4 será declarado *metafísicamente mal formado*. La atribución de propiedades conceptuales a las cosas, así como la de propiedades sustanciales a los constructos, pertenecen a la categoría de los enunciados metafísicamente mal formados. Ejemplos de tales inadaptados metafísicos son ⌜Un cuerpo es un conjunto de puntos⌝ y⌜El conjunto vacío es gris⌝. Asimismo, la tesis de que una cosa es idéntica al conjunto de sus propiedades (vale decir, $\vartheta = p(\vartheta)$) está mal formada desde el punto de vista metafísico, porque implica la atribución de propiedades sustanciales a un conjunto, tal como se ve en el ejemplo siguiente. Sea $p(\vartheta) = \{\text{Borracho, Irascible, …}\}$. La identificación de este nocivo individuo con sus propiedades conduce a atribuir la borrachez y la irascibilidad, etc. al conjunto {Borracho, Irascible, …}. Se podría argumentar que algunos enunciados metafísicamente mal formados, tales como ⌜Papá Noel tiene una barba blanca⌝ y ⌜El número tres se ha posado sobre una rama⌝ son significativos en algunos contextos. Pero no pertenecen al corpus del conocimiento fáctico y da igual que se les asigne o no un valor de verdad en ciertos contextos, como en el caso de los cuentos de hadas. Un ejemplo de ello: la metafísica de los mundos posibles.

Pasemos ahora a estudiar una clase especial de constructo, a saber, el esquema conceptual o modelo de una cosa.

1.4. Cosa modelo

La ciencia teórica y la ontología no manejan cosas concretas, sino conceptos de ellas, en particular esquemas a los que en ocasiones se llama *cosa modelo* [o modelo de la cosa]. Nuestra interpretación de cosa como individuo sustancial junto con el conjunto de sus propiedades (Definición 3.1) es, desde luego, tal cosa modelo, aunque se trata de un modelo bastante pobre. Una caracterización más rica de una cosa la ofrece un conjunto provisto de relaciones especificadas, tales como funciones u operaciones. Por ejemplo, si la cosa representada es un campo de fuerza, el conjunto será una porción de una variedad geométrica M –por ejemplo, una región de un espacio euclídeo tridimensional– junto con un campo tensorial F de M. Abreviado: $\langle M, F\rangle \triangleq$ campo. Adoptaremos este modo de representación, estableciendo la

DEFINICIÓN 3.6 Sea $X = \langle x, p(x)\rangle$ una cosa de la clase $T \subseteq \Theta$. Un *esquema funcional* X_m de X es un conjunto no vacío M junto con una secuencia finita $\mathbb{F}$ de funciones no proposicionales sobre M, cada una de las cuales representa una propiedad de T. Abreviado:

$$X_m =_{df} \langle M, \mathbb{F}\rangle, \text{ donde}$$
$$\mathbb{F} = \langle F_i \mid F_i \text{ es una función sobre } M \;\&\; 1 \leqslant i \leqslant \infty\rangle.$$

El conjunto base M será numerable o no numerable, según sea el caso. Se lo puede concebir como un conjunto aplicado sobre un subconjunto del espaciotiempo físico o no. (En la teoría de sistemas, por lo general se considera que M es un conjunto de instantes). En cuanto a las funciones F_i de $\mathbb{F}$, cada una de ellas se refiere al individuo $x \in T$ de interés y, en consecuencia, es evaluada a un x de T fijo, aun cuando pueda ser una función de cualesquiera otras variables que puedan ser el caso. La finitud del conjunto de componentes de $\mathbb{F}$ coincide con la parte del Postulado 2.3 que especifica que hay un número finito de propiedades generales (tales como la longitud y la longevidad). Además, no contradice la segunda parte del postulado, según la cual $p(x)$ no es numerable para cada $x \in S$. En efecto, recuérdese que una propiedad continua general única, tal como la edad, da lugar a una infinidad de funciones, como en el caso de los desarrollos de la serie de Fourier. Sin embargo, estos trucos matemáticos no tienen ningún significado ontológico: son puramente conceptuales.

Ejemplo 1 El modelo funcional más simple de un corpúsculo con masa variable es el clásico de la masa puntual. Aquí, $M = F \times T$, donde F es el conjunto de marcos de referencia y $T = \mathbb{R}$ la recta real, cada punto de la cual se interpreta como un instante. Y $\mathbb{F} = \langle \mu, \pi, \varphi \rangle$ es una terna de funciones sobre $M = F \times T$, tal que $\mu(f, t)$ representa la masa, $\pi(f, t)$ la posición y $\varphi(f, t)$ la fuerza que actúa sobre el corpúsculo, relativamente al marco de referencia $f \in F$, en el instante $t \in T$. Este esquema funcional de partícula es consistente con diversas ecuaciones de movimiento (enunciados legales) alternativas, vale decir que pueden compartirlo varias teorías diferentes que dependan del mismo objeto modelo. *Ejemplo 2* Un modelo eléctrico simple del cerebro consta de una región finita de una 4-variedad (a saber, el espacio-tiempo) junto con una función única, que representa el potencial eléctrico, aplicada sobre ella. Y un modelo químico posible de la misma cosa lo constituye el mismo conjunto junto con n funciones con dominio sobre éste, cada una de las cuales representa la concentración de un compuesto químico dado en un punto determinado del espacio y el tiempo.

Por último, supondremos que el conjunto de esquemas funcionales es no vacío y puede crecer de manera indefinida. O sea, estableceremos el siguiente

POSTULADO (metodológico) 3.4 Toda cosa puede modelizarse como un esquema funcional: para todo $X \in \Theta$ hay al menos un $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle \in C$, tal que $X_m \triangleq X$.

Comentario 1 El no distinguir entre la cosa representada y su modelo no es sólo una forma de trastorno mental; también está en la raíz de la magia negra y el subjetivismo. El idealista, quien no distingue una cosa de ninguno de sus modelos, no puede dar razón de la multiplicidad de esquemas de la misma cosa. En consecuencia, no puede entender la historia de la ciencia teórica, la cual consiste, en parte, en la sustitución de unos esquemas por otros. *Comentario 2* Nuestra caracterización de los esquemas funcionales es congruente con la práctica científica actual. Sin embargo, caben dos advertencias. Primero, es posible concebir modos de representación más sofisticados, por ejemplo con ayuda del concepto de categoría (cf. Padulo y Arbib, 1974). Segundo, en ocasiones se *define* una cosa como cierta estructura relacional, vale decir, se la identifica con uno de sus objetos modelo. Se trata de un error, ya que sólo es posible definir (algunos de) los constructos: las cosas solamente pueden representarse (bien o mal) y, de vez en cuando, también manipularse. Pero el error es inocuo si somos conscientes de que está ahí. *Comentario 3* Los nominalistas, seguramente, no encontrarán de su agrado nuestra interpretación de un esquema o esbozo de cosa individual como un conjunto estructurado: pueden requerir «individualismo» tanto para el mundo como para nuestras representaciones conceptuales del mismo. Así pues, Goodman (1956, p. 16): «Para mí, el nominalismo consiste, específicamente, en el rechazo a reconocer las clases»; «sólo exige que aquello que se admita como entidad, sea lo que fuere, sea considerado un individuo» (ibídem, p. 17). [En particular, no exige la distinción concreto/conceptual (ibídem, p. 16)]. Dado que la ciencia no la satisface podemos ignorar esta exigencia. *Comentario 4* Si es infinito, el conjunto M puede representar una infinitud real, tal como un campo gravitatorio o algún otro continuo. Aristotélicos y empiristas por igual mirarán con recelo tal infinitud. En cambio, será del agrado de los leibnizianos. Por ello *Las paradojas del infinito* [*Paradoxien des Unendlichen* (1851)], de Bolzano, llevaba como lema la siguiente cita de Leibniz: «*Je suis tellement pour l'infini actuel*, *qu'au lieu d'admettre que la nature l'abhorre*, *comme l'on dit vulgairement*, *je tiens qu'elle l'affecte partout*, *pour mieux marquer les perfections de son auteur*».[#]

No es necesario que los diversos esquemas funcionales de una cosa dada sean equivalentes: por ejemplo, pueden exhibir diferentes cantidades de estructura. En consecuencia, un conjunto cuyos elementos estén relacionados por pares está más estructurado, integrado o estrechamente relacionado que otro cuyos elementos poseen propiedades unarias únicamente. Además, un conjunto amorfo no se transforma en uno estructurado mediante el aumento del número de propiedades de sus elementos, aun cuando sí se torne más complejo. (Vale decir, cuanto más estructurado sea un conjunto, más complejo será, pero la inversa no es válida). Esto sugiere medir la cantidad de estructura de una estructura relacional utilizando el número y categoría de los predicados incluidos en ella. La siguiente es una traducción de esta idea a nuestra terminología:

[#] «Me inclino por el infinito actual de tal manera que, en lugar de admitir que la naturaleza lo aborrece, como se dice vulgarmente, yo sostengo que éste la afecta por todas partes, para resaltar mejor las perfecciones de su autor». [N. del T.]

DEFINICIÓN 3.7 Sea $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle$ un esquema funcional de una cosa X y llámese *categoría* de $F_i \in \mathbb{F}$ al número de variables independientes o de argumentos de F_i. Luego, la *cantidad de estructura* de la cosa X exhibida por su esquema funcional X_m, es igual a

$$\alpha(X_m) = \sum_k n_k\,(r_k - 1),$$

donde n_k es el número de funciones de categoría r_k de $\mathbb{F}$.

Ahora bien, se dice que dos estructuras relacionales tales como $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle$ y $X'_m = \langle M', \mathbb{F}' \rangle$ son *semejantes* sii $\mathbb{F}$ y $\mathbb{F}'$ poseen el mismo número de componentes y sus respectivos componentes son de la misma categoría (Tarski, 1954). En nuestra terminología: dos modelos de dos cosas X_m y X'_m son *semejantes* si poseen la misma cantidad de estructura, es decir, si $\alpha(X_m) = \alpha(X'_m)$. Esta noción sugiere atribuir a los propios modelos de las cosas la propiedad de ser semejantes:

DEFINICIÓN 3.8 Sean X y X' dos cosas modelizadas como $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle$ y $X'_m = \langle M', \mathbb{F}' \rangle$ respectivamente. Luego, X y X' son *formalmente* (morfológicamente) *semejantes en las mismas modelizaciones* sii sus respectivos esquemas funcionales X_m y X'_m son semejantes (vale decir que presentan la misma cantidad de estructura).

Comentario 1 En particular, las cosas descritas con ayuda del mismo formalismo matemático están modelizadas de manera semejante y, por ende, se las puede considerar semejantes ¡en términos de esa modelización dada! (Véase, Bunge, 1973a, Capítulo 5). Sin embargo, puesto que la semejanza morfológica definida como lo hemos hecho aquí no es una propiedad intrínseca de las cosas, sino una propiedad de los pares cosa-modelo de la cosa, debemos cuidarnos de no confundir este concepto con el de semejanza objetiva presentado en la Sección 3.5 del Capítulo 2. Mientras que éste es un concepto ontológico, el primero es un concepto ontológico-gnoseológico. *Comentario 2* Huelga decir que las cosas que pertenecen a la misma clase natural –por ejemplo, los electrones, las neuronas, las sociedades campesinas– son representados por los mismos esquemas funcionales. En particular, las cosas indiscernibles se pueden representar por medio de la misma cosa modelo. En otras palabras, a los fines teóricos, podemos tratar a los indiscernibles *como si* fueran idénticos; algo que, desde luego, no son (cf. Capítulo 2, Sección 3.6).

Hasta aquí llega la caracterización preliminar de los modelos de las cosas o esquemas de las cosas. A continuación refinaremos la noción de esquema funcional de una cosa, examinando en mayor detalle la función de n componentes $\mathbb{F}$. Esto nos permitirá dilucidar la noción de estado de una cosa, noción que será decisiva para nuestro estudio del cambio en general.

2. Estado

2.1. Centralidad del concepto de estado

Toda cosa está –en un instante dado, asociado a un marco de referencia determinado– en algún estado. Ésta es una hipótesis sobre el moblaje o mobiliario del mundo y, puesto que no especifica ni la clase de cosa ni la clase de estado, es ontológica. No se trata de un supuesto evidente. Por un lado, casi nunca se lo formula de manera explícita. Por otro lado, el mundo podría estar constituido de tal forma que este supuesto fuese falso. Además, según las interpretaciones clasicistas de la teoría cuántica, ésta no asigna estados definidos a sus referentes. Pero se equivocan: la verdad es que la teoría no asigna a sus referentes estados clásicos, tales como valores precisos de posición y velocidad, sino estados cuánticos, tales como distribuciones de probabilidad de posición y velocidad.

La hipótesis ontológica de que todas las cosas están en algún estado subyace a toda la ciencia, ha invadido la filosofía y se ha desbordado hacia el conocimiento común, hasta tal punto que los estadistas hablan del estado de la nación. Desde luego, toda teoría científica exacta está en condiciones de ofrecer una caracterización precisa del concepto de estado. Pero sólo se ocupará de una clase particular de estado, tal como el estado dinámico, químico, psicológico o económico de sus referentes, no del concepto genérico de estado de una cosa. La dilucidación de este concepto es tarea de la ontología exacta, en particular de la teoría de sistemas.

Resulta sorprendente que la teoría de sistemas no haya ofrecido, hasta el momento, un análisis exacto y lo bastante general del concepto de estado de un sistema. Para comenzar, los análisis habituales (por ejemplo, Zadeh & Desoer, 1963; Mesarović & Takahara, 1975; Padulo & Arbib, 1974) no aplican ni uno ni otro a los sistemas continuos, tales como los campos o los sistemas cuánticos. Además, el concepto de marco de referencia no tiene sitio en esos análisis, probablemente porque no es necesario en la teoría de autómatas, la teoría de redes eléctricas ni en otras pocas teorías. Con todo, el concepto es central para muchas otras teorías. (Recuérdese el Ejemplo 1 de la Sección 1.4). Por ejemplo, aparece en la explicación del funcionamiento del motor eléctrico, por no mencionar las teorías que subyacen a la mecánica y la electrodinámica. En realidad, la noción de marco de referencia ocupa una posición tan central en la física que los estados de todo sistema físico real son siempre relativos a un marco de referencia: piénsese en el estado de movimiento de un cuerpo o en el estado de un campo electromagnético.

Otro concepto que se echa de menos en la teoría de sistemas es el de ley. Sin dudas, una teoría general de las cosas no debe presuponer ni contener leyes específicas (por ejemplo, termodinámicas, químicas o biológicas), puesto que de lo contrario no sería tan general. (De manera equivalente, el sistema que describe no podría realizarse de diversas maneras alternativas, en particular con materiales de clases diferentes que, en consecuencia, satisfarían leyes diferentes). Sin embargo, el concepto general de ley –el concepto filosófico, que es algo distinto a un enunciado legal en particular, tal como la ley de Ohm– tiene que desempeñar un papel en la teoría de sistemas, aunque sólo fuera por motivos matemáticos. En efecto, si no fuera por las leyes –que ponen límites a los alcances de los componentes de la función *F* que aparece en todo esquema funcional de una cosa– nos veríamos obligados a admitir la caracterización habitual de la colección de los estados posibles (o espacio de estados) como espacios vectoriales o, incluso, como un producto interno de los espacios métricos. La existencia de leyes demuele esta caracterización. De hecho, si una ley limita el alcance de una variable, como hace habitualmente, ya no es cierto que el producto de una variable por un escalar arbitrario pertenezca al mismo espacio. En resumen, ni siquiera las teorías científicas más generales –es decir, las que también cuentan como teorías metafísicas– han ofrecido una caracterización satisfactoria del concepto general de estado.

Los metafísicos tampoco han exactificado la noción de estado ni, mucho menos, la de cambio de estado. Ni siquiera la metafísica de procesos –como son las de Hegel, Bergson, Whitehead y sus numerosos seguidores– se ha encargado de aclarar las nociones de estado y cambio de estado, aunque en la ciencia, al menos, un proceso es una secuencia de estados diferentes. En consecuencia, esos filósofos nos han legado filosofías del cambio oscuras. Mucho de esto vale también para la metafísica de los mundos posibles, tan en boga actualmente: aquí, el concepto de estado de un mundo posible es central y, sin embargo, sigue sin estar definido. Asimismo, los diversos sistemas de lógica inductiva que utilizan los conceptos de estado y descripción de estado no los analizan de manera consistente con los conceptos de estado que aparecen en la ciencia.

Esta carencia de análisis es lamentable, aunque sólo fuera porque el concepto de estado y, por ende, las nociones de descripción de estado y cambio de estado, plantean problemas filosóficos interesantes. Por ejemplo, dado que todo estado de una cosa está determinado por una multitud de variables de estado y puesto que la elección de éstas está parcialmente determinada por el estado de la cuestión, ¿qué derecho tenemos de asignarle a una cosa un estado objetivo representado por una descripción de estado? Otro ejemplo: la llamada teoría (o, mejor dicho, hipótesis) de la identidad se formula, usualmente, afirmando la identidad de la mente y el cerebro. ¿No ganaría en precisión si consideráramos que afirma que los estados mentales son estados del sistema nervioso (o, mejor dicho, de subsistemas de éste) y, por consiguiente, que los sucesos mentales son cambios en los estados de los ensamblados de neuronas? Estos y otros problemas filosóficos exigen, aun antes de ser formulados de manera adecuada, la dilucidación de la noción de estado de una cosa. Pongámonos, entonces, manos a la obra.

2.2. Función de estado

Recordemos la noción de esquema funcional $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle$ que representa a la cosa X (Definición 3.6). Se compone de un conjunto M y de una lista $\mathbb{F} = \langle F_i \mid 1 \leqslant i \leqslant n \rangle$ de n funciones con dominio no especificado M y codominios, igualmente no especificados, V_i. Se supone que cada componente de F_i: $M \to V_i$ de $\mathbb{F}$ representa una propiedad general o propiedad de las cosas de la clase a la que pertenece X. Y se supone que cada valor de F_i para una entidad particular en un punto $x \in M$ representa una propiedad individual o propiedad de X. En el Ejemplo 1 de la Sección 1.4, la función μ: $F \times T \to \mathbb{R}^+$ representa la masa (una propiedad general) y su valor $\mu(f, t)$ representa la masa del corpúsculo dado, relativamente al marco de referencia f, en el instante t. A diferencia de los F_i, que son «variables» (o, mejor dicho, funciones) que representan propiedades, f y t no son «variables». Son los miembros arbitrarios de ciertos conjuntos (F y T respectivamente) y ninguna cosa en particular los posee: por el contrario, son bastante públicos, en el sentido de que diversas cosas pueden «usarlos».

Habitualmente, se llama a los componentes F_i de la lista $\mathbb{F}$ de funciones de un esquema funcional, *variables de estado*, porque sus valores contribuyen a caracterizar o identificar los estados en los cuales puede estar la cosa de interés. Deberíamos llamarlos *funciones de estado*, porque eso es lo que son. Y ofrecemos la siguiente caracterización preliminar: una función es una *función de estado* para una cosa de una clase dada si representa una propiedad que la cosa posee. El que esta representación sea fiel (verdadera) o no carece de importancia para considerarla una función de estado. Lo que resulta decisivo es que la función se refiera a la cosa y sea posible interpretar que representa o conceptúa la propiedad de interés.

Unos pocos ejemplos más darán al lector una idea mejor del concepto de función de estado.

Ejemplo 1 Propiedad cualitativa global: estructura social. Sea $F_i \triangleq$ estructura social en su iésimo aspecto (ocupación, ingresos, escolaridad, poder político o lo que fuera). Llamaremos Σ al conjunto de sistemas sociales (comunidades u organizaciones) y $T \subseteq \mathbb{R}$ al conjunto de instantes. Además, llamaremos $\mathscr{C}(\sigma)$ a la composición (atómica) del sistema $\sigma \in \Sigma$ a nivel personal, vale decir, al conjunto de individuos que componen σ. Definiremos una relación de equivalencia social $\sim_i$ sobre $\mathscr{C}(\sigma)$ como la relación que induce la partición de $\mathscr{C}(\sigma)$ en grupos de personas que son homogéneos en el iésimo aspecto (a grandes rasgos, la misma ocupación o el mismo ingreso, etc.). Llamaremos $\mathscr{C}(\sigma)/\sim_i$ a esa partición. Luego, una estructura social es una lista $\mathbb{F}$ de n variables de estado de la forma

$$F_i\colon \Sigma \times T \to \{\mathscr{C}(\sigma)/\sim_i \mid \sigma \in \Sigma\}.$$

Ejemplo 2 La población, una variable biológica y sociológica conspicua, se puede conceptuar como una función de estado

$$F\colon \Sigma \times T \to \mathbb{N}$$

que aplica pares ⟨comunidad σ de organismos de una clase, instante t⟩ a los números naturales $\mathbb{N}$. Cada valor $F(\sigma, t) = n$, para $n \in \mathbb{N}$, representa una propiedad individual de σ, en tanto que la propia función F representa una propiedad general o propiedad de todos los miembros del conjunto Σ.

Ejemplo 3 Propiedad cuantitativa estocástica. Sea $F \triangleq$ distribución de probabilidades de impulso lineal. Aquí, $M = \{q\} \times \{f\} \times \mathbb{R}^3 \times T$ y $V = \mathbb{R}$, donde $q \in Q$ es una entidad cuántica de la clase Q, $f \in F$ es un marco de referencia de la clase F y $\mathbb{R}$ es la recta real. La función F: $M \to V$ satisface cierto enunciado legal y '$F(q, f, p, t)\ dp$' se interpreta como «La probabilidad de que la entidad q, relativamente al marco de referencia f, en el instante t, posea un impulso lineal comprendido entre p y $p + dp$». (En notación bastante común: $F = |\varphi|^2$, donde φ es la transformada de Fourier de la función de estado φ que representa la distribución de posición).

Ahora estamos preparados para hacer una caracterización general de nuestro concepto:

DEFINICIÓN 3.9. Sea X una cosa modelizada mediante un esquema funcional $X_m = \langle M, \mathbb{F}\rangle$ y supóngase que cada componente de la función

$$\mathbb{F} = \langle F_1, F_2, \ldots, F_n\rangle: M \to V_1 \times V_2 \times \ldots \times V_n$$

representa una propiedad de X. Luego, diremos que F_i es la iésima *función de estado* para X, para $1 \leqslant i \leqslant n$; que F es la *función de estado total* para X y que su valor

$$\mathbb{F}(m) = \langle F_1, F_2, \ldots, F_n\rangle(m) = \langle F_1(m), F_2(m), \ldots, F_n(m)\rangle$$

para $m \in M$, representa el *estado de X en m*; todo esto *en la representación X_m*. Más aún, si todos los V_i para $1 \leqslant i \leqslant n$ son espacios vectoriales, llamaremos a F *vector de estado* para X en la representación X_m.

Adviértase la cauta expresión 'en la representación X_m'. El motivo de la misma es que no existe la función de estado absoluta para una cosa dada: en efecto, hay tantas funciones de estado como esquemas funcionales de la cosa puedan pensarse, es decir, un sinnúmero de ellas. (Por ejemplo, mientras que las teorías lagrangianas utilizan coordenadas y velocidades generalizadas a modo de funciones de estado básicas, las teorías hamiltonianas usan coordenadas e impulsos lineales generalizados). Además, incluso la misma representación es compatible con infinitos sistemas de unidades posibles, cada uno de los cuales puede dar como resultado una función de estado diferente.

La única prueba de la adecuación de la elección de una función de estado es la adecuación (verdad fáctica) de la teoría como totalidad, especialmente la de sus fórmulas claves, que son las que interrelacionan los diversos componentes de la función de estado total, a saber, los enunciados legales y las fórmulas sobre vínculos de la teoría. Aun así, puede haber formulaciones alternativas, si bien básicamente equivalentes, de la misma teoría. (Por ejemplo, la mayoría de las teorías de campo se pueden formular utilizando tanto intensidades de campo como potenciales de campo, los cuales son mutuamente equivalentes con respecto a ciertas constantes o hasta funciones arbitrarias). En el caso de las teorías equivalentes, no hay otros criterios de preferencia que los de la comodidad computacional o la capacidad heurística o, incluso, la sola belleza o la moda.

Expresado en términos negativos: la elección de las funciones de estado no está determinada únicamente por los datos empíricos, sino que depende parcialmente del conocimiento que tenemos disponible, así como de nuestras capacidades, objetivos y hasta inclinaciones personales. Esta reflexión desempeñará un papel importante en todo discurso sobre estados y espacios de estados, acerca de los cuales diremos más en la Sección 2.4. Pero a fin de no dar la impresión de que la elección de las funciones de estado es algo completamente arbitrario y cuestión de mero gusto, apresurémonos a añadir que cualquiera sea el conjunto de funciones de estado que escojamos, se supone que satisfacen ciertos enunciados legales y esto no es cuestión de convenciones. Más sobre ello en la siguiente sección.

Finalmente, un detalle matemático. Típicamente, las funciones de estado para una cosa dada están definidas sobre un único dominio M. Piénsese en la densidad media, el tensor de tensión, el campo de velocidad, la densidad de entropía y las otras «variables» que se refieren a un fluido. Asimismo, el conjunto de variables dinámicas («observables») de un sistema cuántico son todos operadores sobre el espacio de Hilbert asociado al sistema. Sin embargo, podría suceder que un conjunto dado de funciones de estado para cosas de una clase determinada no estuviera definido sobre el mismo dominio. En este caso, un truco inofensivo nos permitirá asignarles el mismo dominio y, por consiguiente, satisfacer una condición tácita de la Definición 3.9. En consecuencia, si

$$F_1\colon A \to B \text{ y } F_2\colon C \to D, \text{ donde } A \neq C \text{ y } B \neq D,$$

podemos adoptar las nuevas funciones de estado

$$\left.\begin{array}{l} F'_1\colon A \times C \to V_1, \text{ tal que } F'_1(a, c) = F_1(a) \\[1em] F'_2\colon A \times C \to V_2, \text{ tal que } F'_2(a, c) = F_2(a) \end{array}\right\} \text{ para todo } a \in A,\ c \in C$$

Pero, como hemos advertido anteriormente, es improbable que utilicemos este artificio alguna vez.

2.3. Los enunciados legales como restricciones de las funciones de estado

En la Sección 3.3 del Capítulo 2 ofrecimos una definición de ley exacta, aunque no esclarecedora. Grosso modo, hemos afirmado que si P y Q son dos propiedades de entidades de una clase, toda relación de inclusión entre el alcance de P y el de Q se considera una ley. Ahora estamos en condiciones de ofrecer un análisis más profundo del concepto de ley, a saber, como una condición sobre ciertas funciones de estado para una cosa. Estas condiciones pueden asumir diversas formas que no sólo dependen de las propias cosas, sino también del estado de nuestro conocimiento. Las siguientes son formas notablemente sencillas:

Ejemplo 1 El recorrido de $F = V$, donde F es una función de estado y V un conjunto bien definido. (Piénsese en la restricción relativista de los valores de velocidad).

Ejemplo 2 $\partial F/\partial t \geqslant 0$, donde $t \in T$ y $T \subseteq \mathbb{R}$ está presente en el dominio de F.

Ejemplo 3 El modelo cinemático de una cosa (llamado habitualmente sistema dinámico):

$$\frac{d\mathbb{F}}{dt} = \mathbb{G}(\mathbb{F}, t), \text{ con } \mathbb{G} \text{ una función específica.}$$

Ejemplo 4 El modelo lagrangiano de un sistema:

$$\int_{t_1}^{t_2} dt\, F(q, \dot{q}, t) = \text{extremal, con } t_1, t_2 \text{ dos elementos seleccionados de } T \subseteq \mathbb{R}.$$

Ejemplo 5 El modelo de la teoría de campos de un sistema:

$$F_2(x, y) = \int_v du\, dv\, F_1(u - x, v - y), \text{ con } F_1, F_2\colon E^3 \times E^3 \rightarrow \mathbb{C}.$$

Ejemplo 6 Otro modelo del mismo género:

$$\nabla^2 F_1 = F_2, \text{ con } F_1, F_2\colon E^3 \rightarrow \mathbb{R}.$$

Las reflexiones anteriores sugieren la adopción de la siguiente caracterización:

DEFINICIÓN 3.10 Sea $X_m = \langle M, \mathbb{F}\rangle$ un esquema funcional para una cosa X. Toda restricción de los valores posibles de los componentes de $\mathbb{F}$ y toda relación entre dos o más de esos componentes se llama *enunciado legal* si (i) pertenece a una teoría consistente acerca de los X y (ii) ha sido confirmada empíricamente en una medida satisfactoria.

(Podría objetarse que, dado que sabemos que una función es una función de estado sólo cuando hemos comprobado que aparece en un enunciado legal, la definición anterior es circular. Pero no lo es, porque no hemos definido las funciones de estado en términos de enunciados legales. Todo lo que hemos hecho es afirmar que la legalidad es una prueba o criterio de funcionalidad de estado).

Si un enunciado legal se refiere a cierta cosa x, podemos llamarle $L(x)$ y podemos llamar $\mathbb{L}(x) = p(x) \cap \mathbb{L}$ a la totalidad de las leyes o, mejor dicho, de los enunciados legales para x. Asimismo, llamaremos $L(T)$ a una ley que posean todas las cosas del conjunto T y $\mathbb{L}(T) = p(T) \cap \mathbb{L}$ a la totalidad de las leyes que las cosas de T «obedecen». Ésta no es sólo una cuestión de notación ya que, como vimos en la Sección 3.3 del Capítulo 2, las leyes son propiedades. Y puesto que lo son, se las puede representar mediante funciones. En efecto, pude considerarse que un enunciado legal es el valor de cierta función –una *función legal*– con la clase T de cosas de interés como dominio y el conjunto de enunciados legales de la forma $L(x)$ como codominio. De manera abreviada, Si $T \subset \Theta$, luego L: $T \rightarrow L(T)$.

Por ejemplo, la ley de Ohm para la resistencia interna de una batería x (un individuo de cierta clase C) se puede escribir

L: $C \rightarrow L(C)$, donde $L(x) = \ulcorner e(x) = R(x) \cdot i(x) \urcorner$
para todo $x \in C$,

donde a su vez e, R e i son funciones de variable real sobre C que representan la fuerza electromotriz, la resistencia y la intensidad de la corriente respectivamente. Este modo de escribir muestra claramente que las leyes son propiedades de las cosas y que algunas de ellas interrelacionan propiedades de las cosas.

Estas mismas ideas se pueden representar de una manera alternativa, que se presta más fácilmente a la generalización: la siguiente. Considérese otra vez el conjunto C de circuitos de batería y resistencia. Como vector de estado para las cosas de esta clase podemos elegir el par voltaje-corriente o bien el par voltaje-carga. Escogemos el primero:

$\mathbb{F} = \langle e, i \rangle$: $C \rightarrow \mathbb{R} \times \mathbb{R}$ donde $\mathbb{R}$ es el conjunto de los números reales.

Esta función asigna a cada cosa $x \in C$ el par de valores reales $\langle e(x), i(x) \rangle$, de manera tal que $e(x) = R(x) \cdot i(x)$, donde $R(x)$ es un número real. A continuación definiremos la primera y segunda proyección, G y H, de $\mathbb{F}$, como sigue:

$$\mathrm{G}: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \qquad \mathrm{H}: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

tal que

$$\langle e(x), i(x) \rangle \xmapsto{G} e(x)$$

$$\langle e(x), i(x) \rangle \xmapsto{H} R(x) \cdot i(x)$$

$$\begin{tikzcd}
& \mathrm{C} \arrow[dl, "G\circ\mathbb{F}"'] \arrow[d, "\mathbb{F}"] \arrow[dr, "H\circ\mathbb{F}"] & \\
\mathbb{R} & \mathbb{R}\times\mathbb{R} \arrow[l, "G"] \arrow[r, "H"'] & \mathbb{R}
\end{tikzcd}$$

Puesto que

$$(G \circ \mathbb{F})(x) = e(x) \quad \text{y} \quad (H \circ \mathbb{F})(x) = R(x) \cdot i(x),$$

la ley de Ohm ahora se escribe

$$G \circ \mathbb{F} = H \circ \mathbb{F},$$

vale decir, como un enunciado de la identidad de dos composiciones de funciones.

El tratamiento anterior puede extenderse a toda otra situación en la que se considere una cosa fija y que el dominio de la función de estado $\mathbb{F}$ sea un conjunto arbitrario M, tal como la colección de todos los instantes o una porción de cierta variedad. Podríamos multiplicar los ejemplos, analizando casos más o menos complejos, pero esto no nos haría avanzar demasiado. Mucho más provechoso es echar un vistazo a los marcos generales de las teorías científicas, tales como las dinámicas lagrangiana y hamiltoniana (para las cuales, véase Bunge, 1967b), pero debemos continuar con el asunto de los estados.

2.4. Espacio de estados: preliminares

Todo modelo teórico de una cosa se ocupa de la representación de los estados realmente posibles (es decir, legales) y, tal vez, también de los cambios de estado realmente posibles (legales) de la cosa. Unos pocos ejemplos típicos nos darán una idea de esta cuestión.

Ejemplo 1 Sea N un conjunto de neuronas, o de fibras nerviosas, y supóngase que cada unidad de éstas puede estar en uno de dos estados: encendida (descargando) o apagada (no descargando). O sea, podemos introducir una función de estado F: $N \rightarrow \{0, 1\}$ que represente la actividad neuronal, tal que

$$\text{Para cada } n \in N, F(n) = \begin{cases} 1 \text{ sii } n \text{ está encendida} \\ \\ 0 \text{ sii } n \text{ está apagada.} \end{cases}$$

El esquema funcional del sistema nervioso es, entonces, $\langle N, F\rangle$, con N y F tal como se ha descrito más arriba. Y el espacio de estados correspondiente a cada neurona $n \in N$ es $S(n) = \{0, 1\}$. Si se considera que las neuronas son mutuamente independientes, el espacio de estados del agregado $[N]$ de neuronas (vale decir, el sistema de interés) es $S([N]) = \{0, 1\}^{|N|}$. En consecuencia, para un sistema compuesto por tres neuronas, el espacio de estados tiene 2^3 elementos: $S = \{\langle 0, 0, 0\rangle, \langle 1, 0, 0\rangle, \langle 0, 1, 0\rangle, \langle 0, 0, 1\rangle, \langle 1, 1, 0\rangle, \langle 1, 0, 1\rangle, \langle 0, 1, 1\rangle, \langle 1, 1, 1\rangle\}$. *Ejemplo 2* En la genética de poblaciones, se utilizan con frecuencia tres funciones de estado: el tamaño N de una población, la probabilidad p de un gen particular y el valor adaptativo v de éste. En consecuencia, para un sistema compuesto por dos poblaciones A y B que interaccionan, el espacio de estados es la región de $\mathbb{R}^6$ abarcada por $\langle N_A(t), N_B(t), p_A(t), p_B(t), v_A(t), v_B(t)\rangle$ en el transcurso del tiempo. *Ejemplo 3* En la teoría elemental de los gases ideales, la función de estado es la terna función de presión-función de volumen-función de temperatura. El espacio de estados correspondiente es un cubo contenido en $(\mathbb{R}^+)^3$. *Ejemplo* 4 En la cinética química el estado instantáneo de un sistema químico es descrito por los valores de las concentraciones parciales tanto de los reactivos como de los productos. Por consiguiente, el espacio de estados del sistema está dentro de $(\mathbb{R}+)^n$, donde n es el número de componentes del sistema (reactivos, catalizadores y productos). *Ejemplo 5* En la electrostática elemental, la función de estado es $\mathbb{F} = \langle \rho, \varphi\rangle$, donde ρ representa la densidad eléctrica y φ es el potencial eléctrico. En consecuencia, el estado local del campo dado es el valor de $\mathbb{F}$ en $x \in E^3$, donde E^3 es el espacio euclídeo tridimensional. Y el espacio de estados íntegro es el conjunto de pares ordenados $\{\langle \rho(x), \varphi(x)\rangle \in \mathbb{R}^2 | x \in V \subseteq E^3\}$, donde V es la región espacial ocupada por el campo. *Ejemplo* 6 En la mecánica cuántica, el estado de un sistema está representado por un subespacio unidimensional (o rayo) del espacio de Hilbert asignado al sistema. Puesto que típicamente no se atribuye una localización puntual a una cosa de esta clase, sino que se supone que se extiende por una región espacial $V \subseteq E^3$ (con una distribución de probabilidades definida), el estado de la cosa es el conjunto de todos los valores que asume su vector de estado en V.

Antes de intentar saltar a una generalización, hagamos hincapié en una cuestión de método que mencionamos en la Sección 2.2. Ciertamente, podemos suponer que, la conozcamos o no, cada cosa –en particular cada cosa aislada– está en un estado definido relativo a un marco de referencia y en cada instante (o, alternativamente, en cada punto del espaciotiempo). Con todo, nuestra *representación* de ese estado dependerá de la función de estado escogida para representar la cosa, elección que depende, a su vez, del estado de nuestro conocimiento, así como de nuestros objetivos. Lo que vale para cada estado singular, vale también, con mayor razón, para todo el espacio de estados de una cosa. Es decir, lejos de ser algo independiente, como el espacio físico, un espacio de estados de una cosa tiene una pata en la cosa, otra en un marco de referencia y la tercera en el teórico (o modelador). Para persuadirse de que es así, basta con echar otro vistazo al Ejemplo 5, en el que suponíamos un marco de referencia en reposo relativamente al campo fuente. Si ahora consideramos el sistema relativamente a un marco en movimiento –es decir, moviéndose con respecto al campo fuente– se deberá reemplazar la densidad de carga única por un cuadrivector densidad de corriente, y el lugar del potencial escalar único ahora lo tomará un cuadripotencial vector. (De forma alternativa –y aquí es donde entra en juego la libertad del científico– el cuadripotencial se puede reemplazar por un tensor antisimétrico que represente los componentes eléctrico y magnético del campo relativamente al marco escogido).

Una vez enfatizado el ingrediente convencional de toda representación de estados, resaltaremos que también posee una base objetiva. Esto se puede ver en la existencia de dos conceptos diferentes de espacio de estados, uno más realista que el otro. Supongamos que hemos establecido cierta función de estado total $\mathbb{F}$. Si formamos el producto cartesiano de los codominios de los diversos componentes de $\mathbb{F}$ (en concordancia con la Definición 3.8), obtenemos el codominio V de la propia $\mathbb{F}$, un conjunto que llamaremos *espacio de estados concebible* de la cosa representada. Eso es, justamente, lo que hicimos en los ejemplos que dieron comienzo a esta sección.

Sin embargo, es posible que una función de estado no asuma valores en todo su codominio, sino que esté restringida a un subconjunto de éste y ello en virtud de una ley. (Recuérdese la Sección 2.3). Por consiguiente, para todo componente de $\mathbb{F}$, nuestra preocupación debe ser su recorrido antes que su codominio. Por ejemplo, la población total de organismos de una clase dada en un territorio dado está restringida no sólo por la capacidad de carga de éste, sino también por las tasas de natalidad y mortalidad, así como por otros factores, tales como la insolación y las precipitaciones. Una vez más, si bien el recorrido de la función de velocidad para un cuerpo es todo el intervalo real $[0, c)$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío, un electrón que viaja en un medio transparente no se acercará a la cota superior c, ya que está sometido a otras leyes. En general: sólo aquellos valores de los componentes de la función de estado total que son compatibles con las leyes son realmente (no sólo conceptualmente) posibles. En otras palabras, a causa de que las leyes imponen restricciones a las funciones de estado y a sus valores –en consecuencia, a sus espacios de estados– sólo ciertos subconjuntos de éstos serán accesibles a la cosa representada. Llamaremos a la parte accesible del espacio de estados *espacio de estados legal* de la cosa en la representación dada y relativamente a un marco dado. (En ocasiones se le llama espacio de estados físico: cf. Hirsch & Smale, 1974). Decir que una cosa *se comporta con arreglo a leyes*, equivale a decir que el punto que representa su estado (instantáneo) no vaga más allá de los límites del espacio de estados escogido para la cosa. (Véase la Figura 3.1).

2.5. Definición de espacio de estados

Los comentarios previos se pueden resumir en términos de los conceptos introducidos en la Sección 2.3:

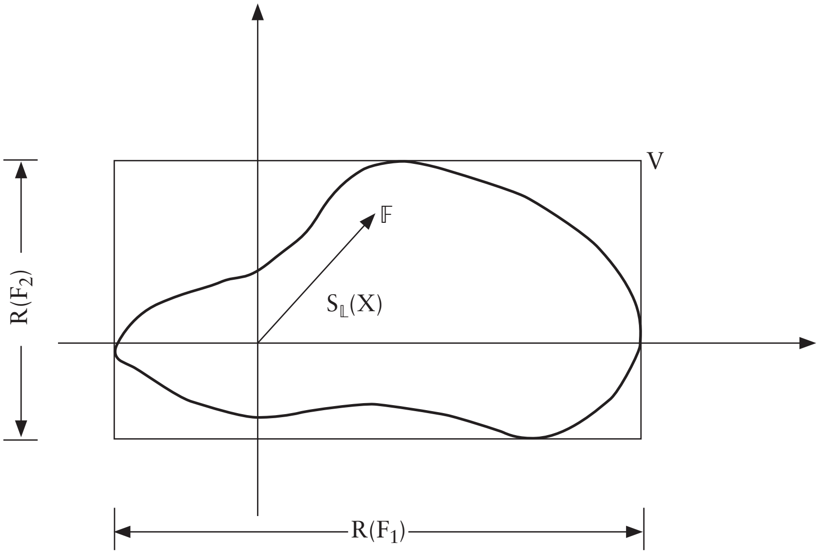


Figura 3.1. El espacio de estados legal $S_{\mathbb{L}}(X)$ para una cosa X es un subconjunto del producto cartesiano de los codominios de los componentes de la función de estado (solamente dos, en este caso).

DEFINICIÓN 3.11 Sea $X_m = \langle M, \mathbb{F}\rangle$ un modelo funcional de una cosa X, en el cual $\mathbb{F}$: $\langle F_1, F_2, \ldots, F_n\rangle$: $M \to V_1 \times V_2 \times \ldots \times V_n$ es la función de estado y llamemos $\mathbb{L}(X)$ al conjunto de enunciados legales de X. Luego, el subconjunto del codominio $V = V_1 \times V_2 \times \ldots \times V_n$ de $\mathbb{F}$ limitado por las condiciones de $\mathbb{L}(X)$ se llama *espacio de estados legal* de X en la representación X_m o, de forma abreviada, $S_{\mathbb{L}}(X)$:

$$S_{\mathbb{L}}(X) = \{\langle x_1, x_2, \ldots, x_n\rangle \in V_1 \times V_2 \times \ldots \times V_n \mid \mathbb{F} \text{ satisface conjuntamente todo miembro de } \mathbb{L}(X)\},$$

y todo punto de $S_{\mathbb{L}}(X)$ se llama *estado legal* (o *realmente posible*) de X en la representación X_m.

Claramente, el espacio de estados legal está incluido en el respectivo espacio de estados concebible: $S_{\mathbb{L}}(X) \subseteq S(X)$ para todo $X \in \Theta$ y en toda representación fija X_m de X. Por ejemplo, si $\mathbb{F} = \langle F_1, F_2\rangle$ asume valores en $\mathbb{R}^2$, sometida a la restricción (enunciado legal) $\ulcorner F_2 = kF_1 \urcorner$, donde k es un número real, $S_{\mathbb{L}}$ es un subespacio unidimensional de $S = \mathbb{R}^2$, vale decir, una curva sobre el plano.

Ejemplo En el Ejemplo 5 (electrostática) de la Sección 2.4, el espacio de estados concebible era

$$S = \{\langle \rho(x), \varphi(x) \rangle \in \mathbb{R}^2 \mid x \in V \subseteq E^3\}.$$

Puesto que los dos componentes de la función de estado $\mathbb{F} = \langle \rho, \varphi \rangle$ están ligados por el enunciado legal: $\ulcorner \nabla^2 \varphi(x) = 4\pi\rho(x) \urcorner$, el espacio de estados legal de la cosa es el subespacio S definido por

$$S_{\mathbb{L}} = \{\langle \rho(x), \varphi(x) \rangle \in \mathbb{R}^2 \mid x \in V \subseteq \mathbb{R}^3 \ \& \ \nabla^2 \varphi(x) = 4\pi\rho(x)\}.$$

Puesto que la mayoría de las funciones de estado presentes en las teorías científicas asumen valores reales, y dado que R y cualquiera de sus potencias cartesianas son espacios vectoriales, la mayoría de los espacios de estado concebibles son espacios vectoriales. Sin embargo, a causa de las restricciones impuestas por los enunciados legales, no es necesario que los espacios de estados legales sean espacios vectoriales –mucho menos espacios métricos– pese a que normalmente están incluidos en espacios vectoriales.

Finalizamos esta subsección con un puñado de comentarios diversos.

Comentario 1 Si simulamos que una colección de estados de una cosa es finita, tratamos con un *modelo de estados finito* de la cosa; de lo contrario, tratamos con un *modelo de estados infinito* de la cosa. En realidad, no hay cosas con un número finito de estados, sino únicamente modelos de cosas restringidas a un número finito de estados, tales como los autómatas. Los modelos con un número finito de estados sólo son razonables cuando nuestro interés está limitado a las propiedades globales. En estos casos, se puede utilizar la noción de *capacidad* de una cosa, definida como $I = \log_2 n$, donde n es el número de estados de la cosa. *Comentario 2* El agregado (o composición sin interacciones) de dos cosas con un número finito de estados se puede representar mediante un espacio de estados con $n_1 \cdot n_2$ puntos, donde n_1 y n_2 son los números de estados de los componentes 1 y 2. Consecuentemente, la capacidad del agregado es igual a la suma de sus capacidades parciales:

$$I(1 \dotplus 2) = \log_2 (n_1 \cdot n_2) = \log_2 n_1 + \log_2 n_2 = I_1 + I_2.$$

Pero este caso, importantísimo en la teoría de sistemas lineales (cf. Zadeh & Desoer, 1963), es demasiado particular para constituir una base general para la ontología. Piénsese que el átomo más simple puede estar en uno cualquiera de infinitos estados de energía o en una combinación lineal de ellos. *Comentario 3* El caso siguiente, en orden de complejidad, es el de una cosa con un espacio de estados infinito, aunque numerable, tal como la colección de estados estacionarios de un átomo. En el caso más simple de esta clase, una cosa está caracterizada por una cuaterna $\langle n, l, m, s\rangle$ de números cuánticos (principal, momento angular, magnético y espín). Por sobre cierto umbral de energía, sin embargo, el entero n debe ser reemplazado por un parámetro continuo, de modo tal que el espacio de estados adquiere un componente continuo. *Comentario 4* Si durante una parte de la existencia de una cosa (por ejemplo, cuando se la observa) sólo algunos de los componentes de su función de estado cambian sus valores, se dice que los restantes componentes son *ignorables* y se puede limitar el estudio de la cosa al subespacio de estados abarcado por las variables de estado activas. Este subespacio puede llamarse *espacio de estados reducido*. La ciencia experimental presupone que siempre se puede efectuar esta reducción. *Comentario 5* Mientras que en la mayor parte de la teoría general de sistemas se supone que el número de dimensiones del espacio de estados es finito, los espacios de estados (o de Hilbert) de las teoría cuánticas tienen un número infinito de ellas. Todo punto de estos espacios se puede analizar en términos de un número infinito de componentes, a saber, los localizados a lo largo de los ejes constituidos por las autofunciones ortonormales de un operador hermítico arbitrario del espacio de Hilbert.

2.6. Representaciones de estados equivalentes

Recordemos que cada enunciado legal referente a una cosa puede considerarse como el valor de cierta función L que hemos llamado la *función legal* correspondiente (Sección 2.3). Para una cosa fija, los argumentos de esta función son componentes de la función de estado o de las funciones de ésta. En consecuencia, una función legal también puede considerarse una función que transforma el espacio de estados en sí mismo. O sea, para toda cosa dada $L: S \to S$ es una función que asigna a cada estado $s \in S_{\mathbb{L}} \subseteq S$ otro estado $L(s) \in S_{\mathbb{L}}$, no desde luego uno arbitrario, sino un estado legalmente relacionado con el primero. Por consiguiente, la totalidad de las leyes de una cosa dada está contenida en el conjunto de todas las transformaciones de ese espacio de estados. Haremos un uso intenso de este punto en el Capítulo 5 sobre el cambio.

Sin duda, no toda transformación de un espacio de estados representa una ley. Para comenzar, la función identidad sobre $S_{\mathbb{L}}$ no representa ninguna ley. Además, si bien son legales (satisfacen leyes), ciertas transformaciones de $S_{\mathbb{L}}$ no representan leyes, sino diferentes elecciones de funciones de estado o representaciones de estado. Considérese cierta transformación de una función de estado referente a una cosa fija: $\mathbb{F}^* = f(\mathbb{F})$, donde f es una función sometida a ciertas restricciones. (Un caso típico es que f sea bicontinua uno a uno, vale decir, que su jacobiano no sea nulo). Toda transformación de este tipo produce diferentes representaciones de los estados de la cosa, es decir, produce diferentes espacios de estados $S^*_{\mathbb{L}}$. En otras palabras, si f: $S_{\mathbb{L}} \to S^*_{\mathbb{L}}$ es una biyección, luego $f(S^*_{\mathbb{L}})$ es un espacio de estados alternativo para la misma cosa: véase la Figura 3.2. Una vez más: $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle$ y $X'_m = \langle M, f(\mathbb{F}) \rangle$ son *representaciones alternativas* de la misma cosa X si f es una biyección sobre $S_{\mathbb{L}}$, en la cual $S_{\mathbb{L}}$ es el espacio que abarca $\mathbb{F}$ con las restricciones $\mathbb{L}$.

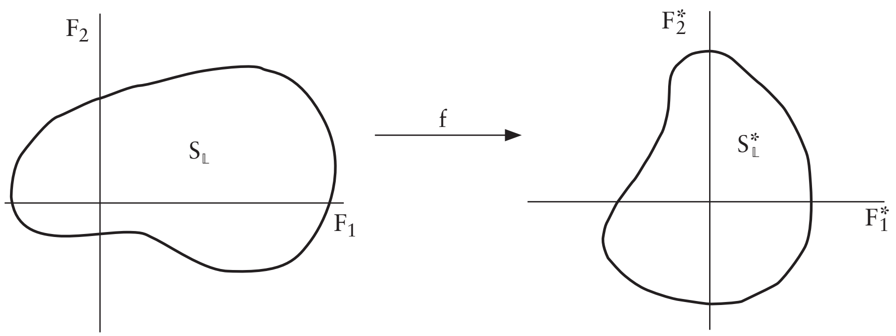


Figura 3.2. Espacios de estados alternativos para una única cosa. Ambas alternativas son equivalente en el preciso caso de que los enunciados legales de $\mathbb{L}$ sean invariantes respecto de la biyección f que relaciona los dos espacios de estados.

No todo cambio de representación es admisible: sólo aquellos que no cambian las leyes. Consagraremos esta importante dicotomía introduciendo la

DEFINICIÓN 3.12 Sea $\mathbb{F}$: $M \to V$ una función de estado para una cosa dada en un esquema funcional dado $X_m = \langle M, \mathbb{F}\rangle$. Luego,

(i) las *transformaciones legales* de $\mathbb{F}$ son aquellas transformaciones f: $V \to V^*$, tal que $\mathbb{F}^* = f \circ \mathbb{F}$ y que dejen las leyes $\mathbb{L}$ de X invariantes en su forma;

(ii) todo espacio de estados legal transformado $S^*_{\mathbb{L}} = f\,(S_{\mathbb{L}})$ es una *representación equivalente* de los estados de X si es la imagen de $S_{\mathbb{L}}$ respecto de una transformación legal f;

(iii) la colección de todas las representaciones equivalentes de los estados de X constituye *la representación* de los estados de X.

Ejemplo 1 En las teorías de la relatividad especial, las coordenadas de posición y tiempo se transforman según las fórmulas de Lorentz. Éstas no sólo son leyes, sino que inducen transformaciones de toda función de estado, de tal suerte que las leyes básicas –por ejemplo, los axiomas de la mecánica o la electrodinámica– retienen su forma o son *covariantes de Lorentz*. Y se llama *invariantes* a los componentes de la función de estado que no cambian bajo una transformación de Lorentz. Ejemplos de invariantes: la carga eléctrica y la entropía. *Ejemplo 2* En las teorías hamiltonianas –ya sea en la física, en la biología o en otra disciplina– las variables de estado son coordenadas generalizadas q e impulsos lineales p (un conjunto de cada uno para cada componente del sistema de interés). Estas variables abarcan el espacio de estados (o fases) de la cosa. Siempre se puede introducir nuevas funciones de estado $\mathbb{F}^* = \langle f(q, p), g(q, p)\rangle$. Pero sólo serán admisibles aquellas que mantengan las ecuaciones canónicas (o de Hamilton) invariantes, vale decir, aquellas para las cuales $q^* = f(q, p)$ y $p^* = g(q, p)$ son tales que

$$\dot{q}^* = \partial H^* / \partial p^* \quad \text{y} \quad \dot{p}^* = \partial H^* / \partial q^*.$$

A estas transformaciones se les llama *canónicas*. Cada una de ellas induce una representación equivalente de los estados de la cosa de interés.

2.7. Estado y preparación de estado

Si una cosa está en un estado dado (relativamente a un marco de referencia) como resultado de su dinámica interna y sus interacciones con otras cosas, o como resultado de una secuencia de operaciones humanas, no reviste importancia para nuestra dilucidación del concepto de estado objetivo (aunque relativo). Después de todo, las manipulaciones que conducen a la preparación de una cosa en un estado dado son procesos estrictamente físicos (o químicos o biológicos o sociales), aun cuando estén controlados por un organismo presuntamente inteligente, y no lo son menos cuando la cosa en cuestión es otro organismo, al cual se instruye o se le lava el cerebro para que se comporte de un modo determinado.

Era necesario incluir esta perogrullada porque ciertas variedades contemporáneas de subjetivismo sostienen que, a diferencia de lo que sucede con las macrocosas, no se puede considerar que las microcosas tengan una existencia independiente, a causa de que siempre son preparadas por un observador para estar en estados preasignados (o saltar a ellos). Más precisamente, algunos expertos en mecánica cuántica han argumentado lo siguiente. (i) Una microcosa no está en ningún estado definido mientras no haya sido forzada a ello por un observador. (ii) Ahora bien, un estado de preparación es una operación humana. (iii) En consecuencia, una microcosa adopta un estado definido únicamente como resultado de estar sometida a ciertas acciones humanas. Las fórmulas claves que ilustran este argumento son las siguientes. Antes de medir la propiedad representada por el operador Q, el sistema está en una superposición de estados

$$\psi = \sum c_n \varphi_n, \qquad \text{con} \qquad Q\varphi_n = q_n \varphi_n,$$

donde las φ_n son las autofunciones y los q_n sus correspondientes autovalores del operador Q. Al medir lo que sea que Q represente, ψ colapsa en uno de sus componentes, digamos φ_m, con probabilidad $|c_m|^2$. Sólo ahora está la cosa en un estado-Q definido φ_m, mientras que antes de la operación de medición (que supone el diseño y la lectura de los instrumentos de medición) no estaba en ningún (auto)estado definido.

Este argumento es una versión de la vieja tesis subjetivista que afirma que las propiedades –y, por ende, los estados– no son objetivas, sino que dependen de un observador. Más aún, no se trata de un argumento propiamente dicho, dado que la conclusión no es más que una reformulación de las premisas (cf. Bunge, 1973b). Además, da la casualidad que la primera premisa es falsa: del hecho que yo no conozca el estado en que está una cosa no se sigue que la cosa no esté en ningún estado, a menos, por supuesto, que se adopte el principio de Berkeley *esse est percipii*.[#] Más todavía, la tesis subjetivista es matemáticamente insostenible. De hecho, las propiedades se representan por medio de funciones (u operadores) y estos conceptos no están definidos a menos que se suministren sus recorridos (de valores posibles) íntegros. El que un recorrido sea o no muestreado por medios empíricos no es algo pertinente respecto del estado objetivo (aunque relativo) de cosas, igual que no lo es la circunstancia de que una microcosa pueda no estar en un estado que es el autoestado del operador que hemos escogido: un estado es un estado incluso si no es un autoestado de un operador. En otras palabras, en beneficio de la matemática se debe suponer que la función tiene todos los valores de su recorrido, aun cuando sólo unos pocos de ellos sean accesibles a la medición. En consecuencia, se supone que toda cosa está en algún estado, incluso si no la hemos preparado para estar en un estado particular dado. Cuando un experimentador prepara una cosa elige cierto subconjunto (en ocasiones hasta un punto) del espacio de estados de la cosa. De este modo induce un cambio real en un estado real de una cosa real: no crea ninguno de ellos de la nada. En resumen, a pesar de la interpretación subjetivista de la mecánica cuántica, los estados no dependen totalmente del modo en que se los mire; son propiedades objetivas (aunque relativas) de las cosas reales.

2.8. Comentarios finales

Todo estado es un estado de un objeto concreto: no hay estados en sí. Y los objetos conceptuales no están en ningún estado en absoluto. Por consiguiente, una cosa se puede definir como todo aquello que está en algún estado. Las cosas difieren entre sí por los estados en que están y su cambios son cambios de estado. Pero todas las cosas de una clase (natural) dada comparten el mismo espacio de estados (legal), lo cual es un modo de decir que comparten las mismas propiedades generales. En resumidas cuentas, los estados no sólo sirven para caracterizar cosas individuales, sino también clases naturales de cosas; de ahí la centralidad del concepto de estado. Pero la cuestión de las clases merece una sección especial.

[#] Ser es ser percibido. [N. del T.]

3. Del tipo a la clase natural

3.1. Tipos de cosas

En esta sección dilucidaremos los conceptos de tipo, clase y especie (o clase natural) de cosas. Con este propósito haremos uso de algunas de las ideas presentadas en la teoría de propiedades expuesta en la Sección 3 del Capítulo 2 y tomaremos prestadas otras de Bunge & Sangalli (1977). Para empezar, la función alcance $\mathcal{S}$ introducida en la Definición 2.5 de la Sección 3.2, Capítulo 2, puede redefinirse fácilmente para las cosas:

DEFINICIÓN 3.13 El *alcance* de una propiedad es el conjunto de cosas que posee esa propiedad. Vale decir, la función $\mathcal{S}: \mathbb{P} \to 2^{\Theta}$, tal que '$x \in \mathcal{S}(P)$', para $x \in \Theta$ y $P \in \mathbb{P}$, pueda interpretarse como «*x posee P*» es el *alcance*.

De forma correspondiente, la Definición 2.6 de clase de individuos sustanciales, será ahora la

DEFINICIÓN 3.14 Se llama tipo [*class*] (de cosas) a un subconjunto X del conjunto Θ de cosas sii hay una propiedad $P \in \mathbb{P}$, tal que $X = \mathcal{S}(P) \in 2^{\Theta}$.

Y el Postulado 2.6, ahora es el

POSTULADO 3.5 La intersección de dos tipos cualesquiera de cosas, si no es vacía, es un tipo: para dos propiedades compatibles cualesquiera $P, Q \in \mathbb{P}$, hay al menos otra propiedad $R \in \mathbb{P}$ tal que $\mathcal{S}(R) = \mathcal{S}(P) \cap \mathcal{S}(Q)$.

A continuación, estudiaremos el álgebra de tipos de cosas, el cual difiere del álgebra de conjuntos, aunque más no fuera porque en nuestra teoría las uniones y los complementos no están definidos. Una herramienta útil para este estudio es la función alcance modificada introducida por la Definición 2.12(iii), de la Sección 3.4, Capítulo 2. En términos del concepto de cosa, es la función $[\mathcal{S}]: [\mathbb{P}] \to 2^{\Theta}$ la que asigna a cada conjunto de propiedades concomitantes la colección de cosas que las poseen.

3.2. Ideales y filtros de tipos de cosas

La función alcance modificada $[\mathcal{S}]: [\mathbb{P}] \to 2^{\Theta}$, que es inyectiva, induce cualquier estructura que su codominio posea sobre su dominio.

Ahora bien, el conjunto potencia de un conjunto no vacío, tal como 2^Θ, tiene una estructura de retículo respecto de la relación de inclusión. En efecto, 2^Θ está cerrada respecto de las operaciones de unión e intersección, y las intersecciones preceden a (están incluidas en) las uniones. Por lo tanto, $\langle 2^\Theta, \cup, \cap, \subseteq \rangle$ es un retículo. Y puesto que lo es, podemos definir ideales y filtros. Dado que resultará que estas estructuras poseen interpretaciones ontológicas interesantes, recordaremos brevemente las nociones de ideal y filtro.

Un *ideal* de un retículo $\mathscr{L} = \langle L, \vee, \wedge, \leqslant \rangle$ es una estructura $\mathscr{I} = \langle I, \vee, \leqslant \rangle$, tal que

(i) $I \subseteq L$;

(ii) todo ancestro está incluido: si $x \in L$ e $y \in I$, y $x \leqslant y$, luego $x \in I$;

(iii) todos los supremos están incluidos: si $x, y \in I$, luego $x \vee y \in I$.

Designaremos la colección de todos los ideales de $\mathscr{L}$ mediante la expresión $\mathscr{I}\mathscr{L}$. Este conjunto posee estructura reticular. Si $I, I' \in \mathscr{I}\mathscr{L}$, su ínfimo es $I \cap I'$, en tanto que su supremo, designado $I \sqcup I'$, es la intersección de todos los ideales que contienen tanto I como I'.

Recíprocamente, un *filtro* de un retículo $\mathscr{L} = \langle L, \vee, \wedge, \leqslant \rangle$ es una estructura $\mathscr{F} = \langle F, \wedge, \leqslant \rangle$, tal que

(i) $F \subseteq L$;

(ii) todo sucesor está incluido: si $x \in F$ e $y \in L$, y $x \leqslant y$, luego $y \in F$;

(iii) todos los ínfimos están incluidos: si $x, y \in F$, luego $x \wedge y \in F$.

Llamaremos $\mathscr{F}\mathscr{L}$ a la colección de todos los filtros de $\mathscr{L}$. $\mathscr{F}\mathscr{L}$ es un retículo.

Pronto se hará obvio que ni las entidades ni sus propiedades están aisladas: los individuos sustanciales se presentan en filtros, mientras que las propiedades sustanciales lo hacen en ideales.

A continuación introduciremos una suerte de inversa de la función alcance, a saber, una función que asigna a cada familia de conjuntos de entidades una colección de propiedades. Más precisamente, observemos la

DEFINICIÓN 3.15 El *alcance estrellado* es la función que aplica el conjunto potencia del conjunto potencia de la colección de cosas al conjunto potencia de la colección de propiedades,

$$\mathcal{S}^{*}: 2^{2^{\Theta}} \rightarrow 2^{\mathbb{P}},$$

tal que $\mathcal{S}^{*}(\mathcal{K}) = \{P \in \mathbb{P} \mid \mathcal{S}(P) \in \mathcal{H}\}$, donde $\mathcal{H} \subseteq 2^{\Theta}$ es una familia de subconjuntos de Θ.

Se recordará que, puesto que $\mathcal{S}(P \wedge Q) = \mathcal{S}(P) \cap \mathcal{S}(Q)$, la función alcance aplica los supremos a los ínfimos. Pues bien, la función alcance estrellado hace precisamente lo opuesto: si $\mathcal{H}$ es un filtro de subconjuntos de Θ, $\mathcal{S}^{*}(\mathcal{H})$ es un ideal de propiedades. De ahí que $\mathcal{S}^{*}$ se pueda considerar una función

$$\mathcal{S}^{*}: \mathcal{F}(2^{\Theta}) \rightarrow \mathcal{I}\mathbb{P}$$

que aplica filtros de conjuntos de entidades a ideales de propiedades sustanciales.

Nuestro siguiente paso requiere de la

DEFINICIÓN 3.16 Si $T \subseteq \Theta$ es un conjunto de cosas, el *filtro de* 2^{Θ} *generado por* T es la intersección de todos los filtros de 2^{Θ} que incluyen a T entre sus miembros, vale decir, $[\mathrm{T}) = \cap\{X \in \mathcal{F}(2^{\Theta}) \mid T \in X\}$ o, también, $[\mathrm{T}) = \{X \in 2^{\Theta} \mid T \subseteq X\}$.

Si ahora aplicamos la definición de $\mathcal{S}^{*}$ al cálculo de $\mathcal{S}^{*}([T))$, obtenemos

$$\begin{aligned} \mathcal{S}^{*}([T)) &= \{P \in \mathbb{P} \mid \mathcal{S}(P) \in [T)\} = \{P \in \mathbb{P} \mid T \subseteq \mathcal{S}(\mathrm{P})\}. \\ &= \{P \in \mathbb{P} \mid \text{ Para todo } x \in \Theta\text{: } x \in T \Rightarrow x \text{ posee } P\}. \end{aligned}$$

En consecuencia, $\mathcal{S}^{*}([T))$ resulta ser el conjunto de todas las propiedades poseídas por todos los miembros de T. Sin embargo, por los comentarios que siguen a la Definición 3.15, $\mathcal{S}^{*}$ asume sus valores en los ideales de P. Por consiguiente, $\mathcal{S}^{*}([T))$ es un ideal de P. De lo que se sigue que, por la Definición 2.3 de p, obtenemos el

COROLARIO 3.3 Sea $x \in T \subseteq \Theta$. Luego,

(i) $p(T) = \mathcal{S}^{*}([T))$ = El ideal de todas las propiedades de todos los T;

(ii) $p(x) = \mathcal{S}^{*}([x))$ = El ideal de todas las propiedades de la cosa x.

En otras palabras: tanto el conjunto de propiedades de una cosa como el conjunto de todas las propiedades compartidas por todos los miembros de un conjunto arbitrario de cosas, lejos de ser conjuntos sin estructura, son ideales. En particular, si el conjunto de cosas es un tipo, luego el conjunto de todas las propiedades compartidas por todos los miembros de ese tipo consta de las propiedades que preceden a la propiedad que define el tipo. De hecho, tenemos el

TEOREMA 3.1 Sea $T = \mathscr{S}(P)$ la clase definida por la propiedad $P \in \mathbb{P}$. Luego, la colección de propiedades de los miembros de T es igual al conjunto de todas las propiedades que preceden a P:

$$p(T) = \{Q \in \mathbb{P} \mid Q \preccurlyeq P\}.$$

Demostración Para todo $Q \in \mathbb{P}$, $T \subseteq \mathscr{S}(Q)$ sii $\mathscr{S}(P) \subseteq \mathscr{S}(Q)$ sii $Q \preccurlyeq P$.

Advierta el lector que $p(T)$ es el ideal principal de P de $\mathbb{P}$, es decir, $(P)_{\mathbb{P}}$. (Véase la Figura 3.3). Adviértase también que $p(T)$ no es una notación arbitraria, sino el valor de la función p: $2^{\Theta}\ \mathscr{I}\mathbb{P}$ en $T \in 2^{\Theta}$. Esta función p invierte el orden, en el sentido de que cuanto mayor sea el conjunto de cosas menor será el número de propiedades que compartan. De hecho, tenemos el

COROLARIO 3.4 Sean $T, T' \subseteq \Theta$. Luego,

$$\text{Si } T \subseteq T', \quad \text{luego} \quad p(T') \subseteq p(T).$$

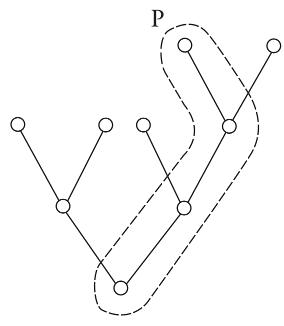


Figura 3.3. El ideal principal de una propiedad P es un fragmento del árbol de propiedades. Las líneas punteadas indican $(P)_{\mathbb{P}}$, el elemento inferior representa una propiedad universal.

3.3. Clases y especies

Mientras que una única propiedad determina un tipo [*class*] (Definición 3.14), diremos que un conjunto de ellas determina una *clase* [*kind*] y que un conjunto de propiedades relacionadas legalmente determina una *clase natural* [*natural kind*]. O sea, los miembros de una clase son aquellas cosas, y sólo aquellas, que comparten todas las propiedades de un conjunto dado. (Véase la Figura 3.4).

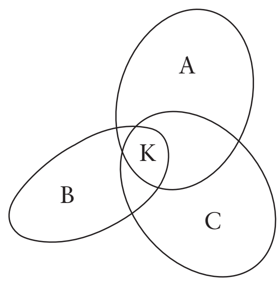


Figura 3.4. La clase K es la intersección de los tipos A, B y C.

Más precisamente, establecemos la

DEFINICIÓN 3.17 Sea k: $2^{\mathbb{P}} \rightarrow 2^{\Theta}$, una función que asigna cada conjunto no vacío $\mathbb{R} \in 2^{\mathbb{P}}$ de propiedades sustanciales el conjunto

$$k(\mathbb{R}) = \bigcap_{P \in \mathbb{R}} \mathcal{S}(P)$$

de cosas que comparten las propiedades de $\mathbb{R}$. Este valor $k(\mathbb{R})$ se llama *clase*-$\mathbb{R}$ de cosas. [En esta subsección y en la que sigue, $\mathbb{R}$ no designará la recta real].

Si $\mathbb{R}$ es finito, la clase-$\mathbb{R}$ correspondiente es un tipo. De hecho, si llamamos $\mathbb{R} = \{P_1, P_2, \ldots, P_n\}$,

$$k(\mathbb{R}) = \bigcap_{i=1}^{n} \mathcal{S}(P_i) = \mathcal{S}(P_1 \wedge P_2 \wedge \ldots \wedge P_n),$$

de suerte que $k(\mathbb{R})$ es el tipo de entidades que poseen la propiedad única (pero compuesta) $P_i \wedge P_2 \wedge \ldots \wedge P_n$.

La noción de clase-$\mathbb{R}$ subyace a toda clasificación. En realidad, permite introducir la noción de equivalencia o igualdad en ciertos aspectos, la cual es la base misma de la agrupación de ítems:

DEFINICIÓN 3.18 Sea $\mathbb{R}$ un conjunto de propiedades sustanciales. Luego, se dice que dos cosas $x, y \in \Theta$ son *equivalentes*-$\mathbb{R}$ o *iguales en todo aspecto* $P \in \mathbb{R}$, sii poseen exactamente las mismas propiedades de $\mathbb{R}$:

$$x \sim_{\mathbb{R}} y =_{df} (P)\ (P \in \mathbb{R} \Rightarrow (x \text{ posee } P \Leftrightarrow y \text{ posee } P))$$

o, de manera equivalente,

$$x \sim_{\mathbb{R}} y =_{df} p(x) \cap \mathbb{R} = p(y) \cap \mathbb{R}.$$

Por ejemplo, dado que todas las células de un organismo se originan a partir de una única célula, son genéticamente idénticas. Aun si son diferentes en otros aspectos, tales células son iguales en su aspecto genético o son equivalentes-G. La totalidad de dichas células, en cuanto conjunto, no en cuanto entidad (organismo), se llama *clon*.

Puesto que $\sim_{\mathbb{R}}$ es una relación de equivalencia sobre S, divide todo conjunto T de cosas en clases de equivalencia disjuntas llamadas especies, géneros, órdenes y así sucesivamente. Esta división (o agrupamiento) merece un nombre:

DEFINICIÓN 3.19 Sea $\mathbb{R} \subset \mathbb{P}$ un conjunto de propiedades sustanciales y $T \subset \Theta$ un conjunto de cosas. Luego, la *clasificación*-$\mathbb{R}$ [$\mathbb{R}$-*classing*] de T es la partición de $T/\sim_{\mathbb{R}}$ y todo miembro de ésta se llama *celda*.

Diferentes relaciones de equivalencia inducen diferentes particiones. De especial interés son esos pares de clasificaciones que, lejos de estar al mismo nivel, tienen diferentes grados de precisión (o bastedad). Esta noción se hace precisa gracias a la

DEFINICIÓN 3.20 Sean $\mathbb{R}$ y $\mathbb{R}'$ conjuntos de propiedades sustanciales, $\sim_{\mathbb{R}}$ y $\sim_{\mathbb{R}'}$ sus respectivas relaciones de equivalencia y $T/\sim_{\mathbb{R}}$ y $T/\sim_{\mathbb{R}'}$ sus respectivas clasificaciones. Luego, $\sim_{\mathbb{R}}$ y $\mathrm{T}/\sim_{\mathbb{R}}$ son *más precisas* que $\sim_{\mathbb{R}'}$ y $\mathrm{T}/\sim_{\mathbb{R}'}$ respectivamente sii $\mathbb{R}' \subseteq \mathbb{R}$, en cuyo caso, para todo $x, y \in S$,

(i) si $x \sim_{\mathbb{R}} y$ luego $x \sim_{\mathbb{R}'} y$;
(ii) cada celda de $T/\sim_{\mathbb{R}'}$ es la unión de las celdas de $T/\sim_{\mathbb{R}}$.

Ésta es, precisamente, la manera en que se realiza la clasificación de ítems en especies, géneros, etc.: con ayuda de las relaciones de equivalencia de diferente potencia. (La relación de equivalencia de mayor potencia es la de mayor precisión. Y la relación de precisión, en la cual preciso precede a basto, es un orden parcial).

El número de celdas contenido en cada partición $T/\sim_{\mathbb{R}}$ depende de $\mathbb{R}$, vale decir, del número de aspectos que se tengan en consideración. Puesto que hay, como máximo, tantas $\sim_{\mathbb{R}}$-celdas como subconjuntos de $\mathbb{R}$, se obtiene el siguiente, e importante, resultado:

COROLARIO 3.5 Si $\mathbb{R}$ es finito, también lo es la correspondiente partición $T/\sim_{\mathbb{R}}$ de un conjunto arbitrario T de entidades.

Dado que en la práctica sólo se manejan números finitos de propiedades, toda clasificación de toda colección de entidades da como resultado un número finito de tipos. Uno de estos tipos es el alcance de la conjunción de todas las propiedades que hay en $\mathbb{R}$.

Ahora bien, hay dos maneras de averiguar si dos cosas están en la misma $\sim_{\mathbb{R}}$-celda (o son $\sim_{\mathbb{R}}$-equivalentes). Una de ellas es apuntar e igualar todas sus propiedades observables independientemente de su importancia: se trata del método preteórico característico de la taxonomía clásica y adoptado, también, por la taxonomía numérica contemporánea. Puede resultar engañoso, ya que una apariencia uniforme puede ocultar diferencias importantes, así como pequeñas diferencias pueden esconder un parentesco básico.

Un método alternativo, que es a la vez el más profundo, consiste en agrupar las cosas según las leyes que poseen. Cuando se hace de las leyes el f*undamentum divisionis* de un conjunto de cosas, las clases resultantes son máximamente naturales o, si utilizamos términos aristotélicos, es improbable que el accidente predomine sobre la esencia. El resultado es un conjunto de clases naturales o especies. Estos conjuntos –tales como las especies químicas y las especies biológicas caracterizadas en términos evolutivos– son típicos de la ciencia desarrollada moderna, en contraste con el conocimiento puramente empírico y la ciencia descriptiva. La definición del concepto de clase natural se obtiene por medio de la particularización del de $\mathbb{R}$-clase (Definición 3.17). Más precisamente, se puede obtener elevando las restricciones de la función de clase k al conjunto potencia de la colección de todas las leyes:

DEFINICIÓN 3.21 Sea $\mathbb{L}$ el conjunto de leyes y sea $k_{\mathbb{L}}: k|2^{\mathbb{L}}:2^{\mathbb{L}} \rightarrow 2^{\Theta}$ la función que asigna a cada $\mathbb{L}_i \subset \mathbb{L}$ de leyes el conjunto

$$k(\mathbb{L}_i) = \bigcap_{L \in \mathbb{L}_i} \mathscr{S}(L)$$

de entidades que comparten las leyes que pertenecen a $\mathbb{L}_i$. Llamaremos a este valor $k(\mathbb{L}_i)$ la $\mathbb{L}_i$ *especie* o *clase natural* $\mathbb{L}_i$.

Por consiguiente, las cosas tienen propiedades de dos clases: las leyes características de su clase natural y propiedades idiosincrásicas: véase la Figura 3.5. Vale decir, que podemos establecer la

DEFINICIÓN 3.22 Sea $\mathbb{L}_i \subset \mathbb{L}$ un conjunto de leyes y $k(\mathbb{L}_i)$ la clase natural correspondiente. Además, llamemos $p(x)$ al conjunto de propiedades de un miembro x de $k(\mathbb{L}_i)$. Luego

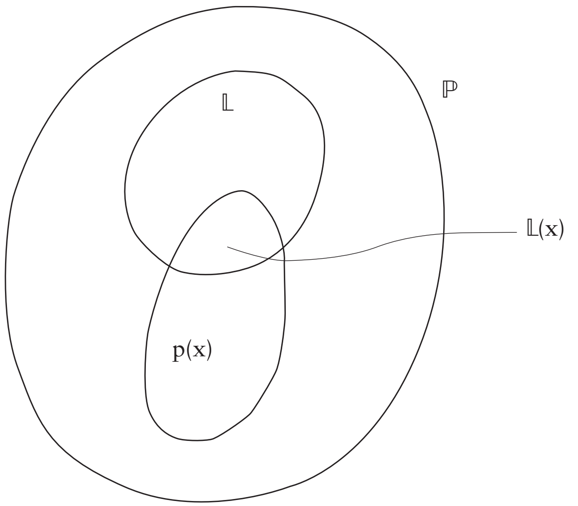


Figura 3.5. Algunas de las propiedades de una cosa x son sus leyes $\mathbb{L}(x)$; las restantes, $p(x)$-$\mathbb{L}(x)$, son sus propiedades idiosincrásicas.

(i) las *propiedades especie específicas* de x son todas las que pertenecen a $\mathbb{L}_i$;

(ii) Las *propiedades idiosincrásicas* de x constituyen el complemento de sus propiedades especie específicas, es decir, $p(x)$-$\mathbb{L}_i$.

Dos cosas que comparten las propiedades características de su clase, aun cuando pueden ser diferentes en todos sus demás aspectos, son equivalentes con respecto a las leyes que definen su clase. Por ejemplo, dos trozos de material son de oro si, cualquiera sea su forma, peso, localización, etc., satisfacen las leyes que definen la clase natural (especie química) Au. En general,

DEFINICIÓN 3.23 Sean x e y dos cosas y $\mathbb{L}_i \subset \mathbb{L}$ un conjunto de leyes. Luego, x e y son *nomológicamente equivalentes relativamente* a $\mathbb{L}_i$ si x e y comparten todas sus propiedades especie específicas, vale decir, todas las leyes que pertenecen a $\mathbb{L}_i$:

$$x \sim_{\mathbb{L}_i} y =_{df} p(x) \cap \mathbb{L}_i = p(y) \cap \mathbb{L}_i.$$

Y, desde luego, dos cosas son *nomológicamente no equivalentes* si no poseen exactamente las mismas leyes o, lo que es lo mismo, si no pertenecen a la misma clase natural. Por consiguiente, al igual que la individuación consiste en la emergencia (o en el reconocimiento) de una cosa con propiedades idiosincrásicas, la especiación consiste en la emergencia (o en el reconocimiento) de una colección de cosas con leyes peculiares, es decir, de una clase natural o especie.

Por último, combinaremos la noción de clase natural con la de composición (Definición 1.6). Una entidad puede estar compuesta por partes de la misma clase natural o no. Si no lo está, decimos que es un átomo de su clase. Más precisamente, proponemos la

DEFINICIÓN 3.24 Toda cosa perteneciente a una clase natural $k(\mathbb{L}_i)$ es un *átomo* de esa clase, o $k(\mathbb{L}_i)$, *elemental*, si no posee partes propiamente dichas de la misma clase. De lo contrario, le llamaremos *molecular.*

3.4. El álgebra de clases

Puesto que las propiedades no satisfacen el álgebra de predicados, vale decir, no forman álgebras booleanas, es posible conjeturar que las clases no obedecen el álgebra de conjuntos. La siguiente investigación mostrará que éste es, en efecto, el caso.

Recordemos cómo fue introducida la función de clase k por la Definición 3.17. Como p, la función de clase k invierte el orden:

$$\text{Si } \mathbb{R} \subseteq \mathbb{R}', \text{ luego } k(\mathbb{R}') \subseteq k(\mathbb{R}).$$

O sea, a medida que se añaden más condiciones, hay menos individuos que las satisfacen. Tenemos, entonces, dos funciones inversoras que relacionan la familia de conjuntos de propiedades con la familia de conjuntos de cosas:

$$2^{\mathbb{P}} \underset{p}{\overset{k}{\rightleftarrows}} 2^{\Theta}.$$

Mientras que k asigna el conjunto de todas las cosas que poseen cada una de las propiedades que hay en $\mathbb{R}$ a cada $\mathbb{R} \subseteq \mathbb{P}$, p asigna el conjunto de todas las propiedades compartidas por todos los miembros de T a un subconjunto T de Θ. Más precisamente, encontramos el siguiente puente entre conjuntos de propiedades y conjuntos de cosas:

TEOREMA 3.2 Para todo $\mathbb{R} \subseteq \mathbb{P}$ y todo $T \subseteq \Theta$,

$$\mathbb{R} \subseteq p(T) \text{ sii } k(\mathbb{R}) \supseteq T.$$

Demostración Si $\mathbb{R} \subseteq p(T)$ luego, para todo $Q \in \mathbb{R}$, $T \subseteq \mathcal{S}(Q)$. Por tanto, $T \subseteq \bigcap\{\mathcal{S}(Q)|Q \in \mathbb{R}\} = k(\mathbb{R})$. Y a la inversa, si $T \subseteq k(\mathbb{R}) = \bigcap\{\mathcal{S}(Q)|Q \in \mathbb{R}\}$, luego $T \subseteq \mathcal{S}(Q)$ para todo $Q \in \mathbb{R}$, por tanto $\mathbb{R} \subseteq p(T)$.

Este teorema posee varias consecuencias interesantes, la primera de ellas el

TEOREMA 3.3 La composición pk (vale decir, la función k seguida de la función p) es un operador de clausura sobre $2^{\mathbb{P}}$. O sea, para todo $\mathbb{R}$, $\mathbb{R}' \subseteq \mathbb{P}$

(i) $\mathbb{R} \subseteq pk(\mathbb{R})$;
(ii) $\mathbb{R} \subseteq \mathbb{R}' \Rightarrow pk(\mathbb{R}) \subseteq pk(\mathbb{R}')$;
(iii) $pk\, pk(\mathbb{R}) = pk(\mathbb{R})$.

Demostración (i) se sigue del Teorema 3.2 al establecer $T = k(\mathbb{R})$. (ii) se sigue del hecho de que tanto k como p invierten el orden. Demostración de (iii): $pk(\mathbb{R}) \subseteq pk\, pk(\mathbb{R})$ se sigue de (i). Para controlar la inclusión en sentido opuesto, úsese primero el Teorema 3.2 con $\mathbb{R} = p(T)$ a fin de obtener: para todo $T \subseteq \Theta$, $kp(T) \supseteq T$. A continuación, aplíquese dos veces este último resultado, con $T = k(\mathbb{R})$ y $T = kp(k(\mathbb{R}))$, de lo que resulta $k(\mathbb{R}) \subseteq kp(k(\mathbb{R})) \subseteq kp\, kp\, (k(\mathbb{R}))$. En consecuencia, por el Teorema 3.2, $pk\, pk(\mathbb{R}) \subseteq pk(\mathbb{R})$.

A causa de la simetría descrita por el Teorema 3.2 se da, asimismo, la consecuencia de que kp también es un operador de clausura sobre 2^{Θ}.

Diremos que los subconjuntos $\mathbb{R}$ de $\mathbb{P}$ tal que $pk(\mathbb{R}) = \mathbb{R}$ están *cerrados* con respecto a pk. Por el Teorema 3.1, sólo los subconjuntos de $\mathbb{P}$ que son ideales pueden ser cerrados. En la continuación, veremos que estos ideales cerrados desempeñan un papel especial. Son precisamente estos conjuntos $\mathbb{I}$ de propiedades tales que las cosas que comparten todas las propiedades de $\mathbb{I}$ no comparten ninguna otra propiedad. Vale decir, en general, tenemos la cláusula (i) del Teorema 3.3, que afirma precisamente que, para un $\mathbb{I}$ dado, las cosas que comparten todas las propiedades pertenecientes a $\mathbb{I}$ (o sea, $k(\mathbb{I})$) también pueden compartir otras propiedades: $\mathbb{I} \subseteq pk(I)$. Pero sii $\mathbb{I} = pk(\mathbb{I})$, $\mathbb{I}$ es el conjunto de propiedades caracterizadas por el conjunto de individuos que las poseen.

Llegamos, entonces, a la siguiente consecuencia del Teorema 3.2, que proporciona caracterizaciones alternativas del concepto de clase:

TEOREMA 3.4 Para todo subconjunto $T \subseteq \Theta$ de cosas, los siguientes enunciados son equivalentes:

(a) T es una clase (vale decir, existe un subconjunto $\mathbb{R}$ de $\mathbb{P}$, tal que $T = k(\mathbb{R})$).

(b) T está determinado por las propiedades compartidas por todos sus miembros {es decir, $T = k(p(T))$}.

(c) T es una $\mathbb{I}$-clase para un (único) ideal cerrado $\mathbb{I}$ (vale decir, existe un ideal cerrado $\mathbb{I}$ necesariamente único de $\mathbb{P}$ tal que $T = k(\mathbb{I})$).

Demostración (a) $\Rightarrow$ *(b)*: aplica kp a ambos miembros de $T = k(\mathbb{R})$ para obtener $kp(T) = kpk(\mathbb{R})$. Usando el Teorema 3.2, compruébese que $kpk(\mathbb{R}) = k(\mathbb{R})$.

(b) $\Rightarrow$ *(c)*: basta con mostrar que $p(T)$ es un ideal cerrado (la afirmación de unicidad es fácil de comprobar). Del hecho de que kp es un operador de clausura, obtenemos $T \subseteq k\,(pkp(T))$. Por el Teorema 3.2, ahora se sigue que $pkp(T) \subseteq p(T)$.

(c) $\Rightarrow$ *(a)*: trivial.

De esta última cláusula del Teorema 3.4 se sigue que, para generar todas las clases, basta considerar los ideales cerrados de las propiedades. En efecto, la correspondencia entre las clases y los ideales cerrados es de una a uno. Más aún, tenemos el

TEOREMA 3.5 La colección de todas las clases forma un retículo completo respecto de la inclusión, y este retículo es isomórfico con respecto al dual del retículo de todos los ideales cerrados.

Demostración Si χ es una familia de clases, la intersección $\bigcap_{X \in \chi} X$ también es una clase y es, además, el ínfimo de χ. El supremo es la clase $k(p(\bigcup_{X \in \chi} X))$. El isomorfismo que invierte el orden es la función k que eleva al ideal cerrado $\mathbb{I}$ a la clase-$\mathbb{I}$ $k(\mathbb{I})$. En efecto, para dos ideales cerrados cualesquiera $\mathbb{I}$, $\mathbb{I}$', aplicando el Teorema 3.2 con $\mathbb{R} = \mathbb{I}$ y $T = k(\mathbb{I}')$, obtenemos $\mathbb{I} \subseteq \mathbb{I}'$ si $k(\mathbb{I}) \supseteq k(\mathbb{I}')$. (El isomorfismo inverso es la función p).

Adviértase la diferencia entre las estructuras de la familia de las clases y la familia de los subconjuntos de Θ (vale decir, los tipos). En tanto que la última forma un álgebra booleana, la familia de las clases no lo forma: para empezar, la unión de dos clases no es, necesariamente, otra clase. Se trata, desde luego, de una característica del mundo, y un enfoque puramente extensional o nominalista sería incapaz de desvelarla.

Por último, es posible darle al Teorema 3.5 el siguiente giro. Desígnese mediante $\mathbb{P}^*$ la colección de todos los ideales cerrados de propiedades. Este conjunto no sólo contiene propiedades sustanciales (o realmente poseídas) sino también otras propiedades. En este conjunto $\mathbb{P}^*$ más amplio, existe el supremo de familias de elementos arbitrarias (posiblemente infinitas); se las puede interpretar como la conjunción de (posiblemente infinitas) familias de propiedades. El Teorema 3.5 nos dice, entonces, que existe una correspondencia 1:1 entre las clases de cosas y la suma total de las propiedades (reales e imaginarias). Esta correspondencia es la función k, la cual puede considerarse una generalización de la función alcance $\mathcal{S}$, ya que concuerda con $\mathcal{S}$ sobre el conjunto $\mathbb{P}$ de propiedades sustanciales. (Vale decir, $k((P]) = \mathcal{S}(P)$, donde $(P]$ es el ideal cerrado $\{Q \in \mathbb{P} \mid Q \preccurlyeq P\}$). Además, k también asigna alcances $k(\mathbb{I})$ a los ideales de propiedades. Más aún, la correspondencia k es tal que a la conjunción (posiblemente infinita) –vale decir, al supremo– de un conjunto de propiedades corresponde la intersección de sus alcances.

Hasta aquí llegamos con el álgebra de clases, el cual se aplica, por supuesto, a las clases naturales o nomológicas como caso particular.

Tenemos ahora una teoría de propiedades distinta de la teoría de predicados y una teoría de clases diferente del álgebra de conjuntos. En consecuencia, podemos utilizar sin reparos los conceptos de propiedad y clase. Las diferencias entre predicados y propiedades, así como entre conjuntos y clases, bastan para dar en tierra con las interpretaciones ontológicas de la lógica y la teoría de conjuntos. No hay ningún motivo para esperar que la matemática pura sea capaz de desvelar, por sí sola, la estructura de la realidad.

3.5. Variedad

Finalizaremos esta sección echando un vistazo a los conceptos de variedad. Hay al menos dos de ellos. Uno consiste en la diversidad de clases de cosas «representadas» (hablando en términos platónicos) en un conjunto restringido de cosas, tal como una muestra al azar de la colección de organismos presentes en un centímetro cúbico de la superficie del suelo. Existen diversas medidas de esta clase de variedad o *variedad local*: el solo número de especies diferentes, varios índices de variedad ecológica o variedad conducente al equilibrio ecológico (véase Pielou, 1969), la medida de la teoría de la información (véase Ashby, 1956), y así sucesivamente. Todas éstas son medidas específicas de la variedad que hay o se espera que haya en algunos conjuntos limitados de cosas. Por lo tanto, su estudio compete a la ciencia.

El concepto que nos interesa aquí es el de *variedad universal* o diversidad de la suma total de las cosas. Hemos supuesto que hay un número infinito de cosas (Postulado 3.1). Pero, desde luego, sólo tenemos acceso empírico a muestras bastante pequeñas de esa totalidad. Sin embargo, podemos trascender esta limitación a fuerza de imaginación, principalmente por medio de clasificar y conjeturar pautas. La clasificación nos permite restar importancia a las idiosincrasias y prepara el terreno para el hallazgo de regularidades. Y la hipotetización de pautas generales, o leyes, nos permite restar importancia también a las circunstancias particulares, así como refinar y profundizar la clasificaciones anteriores.

Ahora bien, sólo captamos las leyes por medio de nuestra reconstrucción conceptual de ellas, es decir, de enunciados legales. Entre estas fórmulas científicas se cuentan alguna que descartan tanto las circunstancias particulares como las idiosincrasias: se trata de las leyes *genéricas* o *básicas*, a diferencia de las *específicas* o *derivadas*. La diferencia es decisiva desde los puntos de vista lógico, metodológico y ontológico, y se reduce a lo siguiente. Si bien toda teoría científica contiene, en el mejor de los casos, un número finito de leyes genéricas o básicas, también contiene todas las consecuencias lógicas resultantes de reunir estos axiomas con otras premisas de la teoría; estas consecuencias tienen igual derecho a recibir el nombre de 'leyes'. La dicotomía básica/derivada o genérica/específica es tan fundamental que sólo se exige que las leyes básicas (o genéricas) tengan propiedades de covarianza (Bunge, 1967b).

La consecuencia para la cuestión de la variedad universal es bastante obvia: en tanto que clasificar cosas según una ley cualquiera garantiza una variedad infinita (porque hay un número infinito de enunciados legales), hacerlo solamente según las leyes básicas justifica la partición del conjunto de las cosas en un número finito de clases naturales. Estos dos modos de clasificación son tan importantes que justifican una convención más:

DEFINICIÓN 3.25 El conjunto de las cosas que comparten una ley básica se llama *género natural* y el de aquellas que comparten una ley particular se llama *especie natural*.

Esta correspondencia entre ley y clase natural, junto con nuestro conocimiento metateórico de la estructura de las teorías científicas, implica el

TEOREMA 3.6 Existe un número finito de géneros naturales y un número infinito de especies naturales.

Advertimos ahora que la pregunta «¿Cuán variada es la realidad?» es ambigua. La respuesta es: en tanto que la variedad específica de la realidad es infinita, su variedad genérica es finita. Y mientras que esta última característica de la realidad hace posible la investigación científica, la primera la hace abierta.

4. El universo

4.1. ¿En qué consiste y de qué consta el universo?

La mayoría de los metafísicos ha preguntado, y algunos han respondido, las siguientes preguntas: (i) ¿en qué consiste el universo?, vale decir, ¿qué clases básicas de cosas son sus constituyentes? y (ii) ¿de qué consta el universo?, o sea, ¿qué hay allí fuera? Tenemos una respuesta para la primera pregunta, pero no una para la segunda.

Nuestra respuesta para la pregunta acerca de las clases de cosas de las que el mundo está «hecho» se sigue del Postulado 3.2 y la Definición

3.5: *El universo es la agregación de sus constituyentes*, *los cuales son las cosas*. O, si se lo prefiere, el universo consiste en esa cosa que es la suma física de todos los existentes concretos o materiales. Desde luego, ésta es una respuesta materialista. Sin embargo, la mayoría de los materialistas parece inclinarse por la fórmula «El universo es material». No adoptamos esta fórmula porque sugiere la tesis fisicista [o fisicalista] de que las únicas realidades son los sistemas físicos, cuando la verdad es que los sistemas y supersistemas vivientes (por ejemplo, los ecosistemas y las sociedades) son tan reales y concretos como los primeros.

Nuestra respuesta, con no ser nueva ni sorprendente, no goza de popularidad entre los filósofos contemporáneos más sofisticados. En efecto, piénsese en sólo algunas de las respuestas contemporáneas típicas a la pregunta (i): el universo consiste en sensaciones (Mach, 1906) o en *Erlebnisse*# –o experiencias elementales– (Carnap, 1928); el universo es la totalidad de los hechos (Wittgenstein, 1922); el mundo es la suma total de los procesos (Whitehead, 1929); el universo es la suma de los individuos de toda clase (Goodman, 1956); el mundo está hecho de cuerpos y personas (Strawson, 1959). Puesto que tenemos que esbozar nuestra propia perspectiva sobre la cuestión, no intentaremos discutir ninguna de estas alternativas. Sin embargo, no podemos evitar afirmar que ninguna de ellas es congruente con la ciencia y, por consiguiente, ninguna de ellas merece ser incluida en una metafísica científica. En particular, las doctrinas subjetivistas son inconsistentes con la ciencia natural; la opinión de que el mundo consiste en hechos, sucesos o procesos es incompatible con la cosmología física y no aclara las nociones mismas de hecho, suceso y proceso; el dualismo cuerpo/persona entra en conflicto con la psicología fisiológica y con el estudio evolucionista de la conducta; y la tesis de que el universo consta de individuos resulta insatisfactoria a menos que se añada la cláusula de que esos individuos son concretos. En cambio, la tesis de que el mundo es el agregado de todas las cosas sí es congruente con la ciencia, ya que son las cosas lo que toda ciencia fáctica investiga.

En cuanto a la segunda pregunta –¿qué hay allí fuera?–, nos abstendremos de responderla. Vale decir, no haremos una lista de las clases de constituyentes del mundo, sino que dejaremos esa tarea a las ciencias especiales. Porque tan pronto como el metafísico declara que el universo

Traducible como "vivencia". [N. del T.]

está «hecho de» tales y cuales clases, los científicos descubren que algunas de las supuestas especies están vacías o que hay otras que faltan en la lista del metafísico.

4.2. Individuos, poblaciones, comunidades y especies

Los científicos no se detienen en los individuos, sino que los agrupan e interrelacionan. No reúnen las cosas en conjuntos arbitrarios, sino en clases y, más especialmente, en clases naturales. Los científicos reconocen tantas clases naturales como leyes y, con todo, se las arreglan para mantener bajo el número de especies naturales. Lo que hacen no solamente centrándose en las leyes básicas o genéricas (cf. Sección 3.5), sino también, cuando éstas no están disponibles, pasando por alto ligeras diferencias individuales, tales como las variaciones locales (o ecológicas) que, si bien son reales, se consideran secundarias, correcta o incorrectamente. En otras palabras, los científicos distinguen las especies de las variedades y, si bien mantienen a las últimas bajo vigilancia (ya que algunas de ellas, finalmente, evolucionarán para convertirse en especies aparte), centran su atención en las primeras. (Para la exhortación metodológica *Species non sunt multiplicanda praeter necessitatem*,[#] véase Hooker, 1853, Ensayo introductorio, pp. xii-xvii, y Allen, 1870-1871).

Los científicos, los biólogos en particular, reconocen tres niveles de entidades concretas: la cosa individual, el agregado de individuos de una clase dada o población y el agregado de individuos de diferentes clases o mezcla de poblaciones (por ejemplo, el ecosistema o comunidad biológica). A diferencia tanto de la cosa individual como de la clase, la población es un agregado concreto de entidades de una o más especies. En particular, una población biológica es un grupo de organismos de una especie dada que habita un territorio limitado, interacciona y se entrecruza, y está relativamente aislado de otras poblaciones. Según la moderna teoría de la evolución, la unidad evolutiva –la involucrada en la herencia y la selección– no es ni el organismo individual ni la especie, sino la población (o, quizá, hasta el ecosistema). Ello es así porque los organismos de una población comparten un acervo génico y un entor-

[#] Esta paráfrasis de la conocida navaja de Ockham puede traducirse como «No se debe multiplicar las especies innecesariamente». [N. del T.]

no. (Las diferentes poblaciones de la misma especie están separadas: no comparten ni el mismo acervo génico ni exactamente el mismo entorno, por lo cual es probable que desarrollen caracteres exclusivos cuya acumulación y selección puede dar como resultado la especiación, vale decir, la formación de una población perteneciente a una nueva especie). Una especie, en cambio, no tiene ni un entorno uniforme ni un conjunto común de genes, por lo que tampoco sufre selección ni posee mecanismos de supervivencia: a diferencia de una población, que es una cosa, una especie es un concepto, aun cuando se trate de uno indispensable.

La relación lógica entre los conceptos de individuo, población y especie está dilucidada en la

DEFINICIÓN 3.26 Una cosa X es

(i) una *población monoespecífica* si X es la agregación de un conjunto A de cosas individuales que pertenecen a una única clase natural $K_{\mathbb{L}}$:

$$X = [A] \quad \text{con} \quad A \subseteq K_{\mathbb{L}};$$

(ii) una *población multiespecífica* (o *comunidad* o *mezcla*, según sea el caso) si X es la agregación de dos o más conjuntos A_i de individuos pertenecientes a diferentes clases naturales $K_{\mathbb{L}_i}$:

$$X = \left[\bigcup_i A_i\right] \quad \text{con} \quad A_i \subseteq K_{\mathbb{L}_i}$$

$$\text{y} \quad K_{\mathbb{L}i} \neq K_{\mathbb{L}j} \quad \text{para} \quad i \neq j,\ 1 \leqslant i, j \leqslant n.$$

(Recíprocamente, toda especie o clase natural se puede considerar la unión de la membresía de todas las poblaciones posibles de cosas de la clase. Pero esta interpretación no puede formalizarse en nuestro sistema, puesto que hemos definido la población con ayuda del concepto de especie).

Las reflexiones previas son pertinentes para la superación del punto muerto nominalismo/realismo de la taxonomía biológica. La cuestión es si la biología se ocupa de organismos individuales o de especies de éstos. Nuestra respuesta es, por supuesto: de ambos y, además, de las poblaciones, ya que los sistemas taxonómicos son relaciones entre clases naturales y una clase es una colección de individuos que, en el caso de los organismos, viven en poblaciones. En consecuencia, evitamos tanto los dientes de Escila como los remolinos de Caribdis: no tenemos que escoger entre individuos que no pertenecen a ninguna especie (nominalismo) y especies que trascienden su membresía (platonismo). Tanto los organismos individuales como las poblaciones de éstos son reales, pero ambos comparten ciertos grupos de propiedades (en particular, leyes) y, por lo tanto, pertenecen a clases naturales definidas. El platónico tiene razón al sostener que todo individuo pertenece a («participa de») una especie (o de la unión de varias especies), pero no la tiene al asignarle la prioridad a esta última: un conjunto está compuesto por su membresía. Y el nominalista tiene razón cuando afirma que las clases son cosas de la mente, pero no la tiene cuando sostiene que todas las clases son invenciones arbitrarias: las clases naturales son invenciones adecuadas a la realidad, en cuanto son conjuntos de cosas equivalentes desde el punto de vista nomológico.

En resumidas cuentas, cada uno de los polos filosóficos, el nominalismo y el realismo, contiene una pizca de verdad, pero ninguno la verdad completa. Además, ambos ignoran el *tertium quid*[#] que la genética de poblaciones y la ecología han interpolado entre el individuo y la especie: la población. Esta conclusión refuerza nuestra crítica previa al platonismo (Capítulo 2, Sección 5.2): no hay universales en sí ni por sí mismos. Lo único que hay es cosas con propiedades definidas. Se puede decir que una propiedad general (en particular, una ley) es universal en una clase dada si todo miembro de esta clase posee esa propiedad. (Recuérdese la Definición 2.18).

4.3. Conceptos de existencia

La expresión del lenguaje corriente “hay” es ambigua, ya que designa dos conceptos diferentes: el concepto lógico de *algo* y el concepto ontológico de *existencia*. La lógica se ocupa del primero y lo analiza como cuantificador existencial, que bien podría rebautizarse *particularizador* o *cuantificador indefinido*, para distinguirlo tanto del *universalizador* (o cuantificador universal) como del *individualizador* (o descriptor).

No cabe duda de que la mayoría de los filósofos contemporáneos sostiene que $\exists$ formaliza tanto el concepto lógico “algún” como el

[#] La «tercera cosa» (diferente de las dos anteriores). [N. del T.]

concepto ontológico de existencia. Sostendré que se trata de un error. Considérese el enunciado «Algunas sirenas son hermosas», el cual se puede simbolizar «$(\exists x)$ $(Sx \ \& \ Bx)$». Hasta aquí todo va bien. El problema se presenta cuando la fórmula se interpreta así: «Hay sirenas hermosas». La interpretación existencial es engañosa, porque sugiere la creencia en la existencia real de las sirenas, cuando todo lo que pretendíamos decir era que «Algunas de las sirenas que hay en la mitología griega son hermosas». El particularizador formaliza el prefijo 'algunas', pero no la frase 'que hay en la mitología griega'. (La yuxtaposición de dos particularizadores aplicados a la misma variable no tiene sentido). En consecuencia, necesitamos un concepto exacto de existencia que sea diferente de $\exists$. Para disgusto de la mayoría de los lógicos, introduciremos tal concepto a continuación. En realidad, introduciremos un predicado de existencia y así reivindicaremos la antiquísima intuición de que la existencia es la propiedad más importante que una cosa puede poseer.

Introduciremos el concepto de existencia relativa o contextual, ejemplificado por «La disyunción existe en la lógica, pero no en la naturaleza» y «Las aves existen en la naturaleza, pero no en la lógica». Esto lo haremos estableciendo la

DEFINICIÓN 3.27 Sea A un conjunto bien formado incluido en un conjunto X y χ_A la función característica de A, es decir, la función χ_A: $X \rightarrow \{0, 1\}$ tal que $\chi_A(x) = 1$ si x pertenece a A y, de lo contrario, $\chi_A(x) = 0$. Luego,

(i) *x existe en* $A =_{df} (\chi_A\ (x) = 1)$;

(ii) *x no existe en* $A =_{df} (\chi_A\ (x) = 0)$.

Comentario 1 Adviértase la condición de que A sea un conjunto bien formado, vale decir, un conjunto propiamente dicho y no una colección de símbolos sin significado tal como "El conjunto de todos los objetos que difieren de sí mismos". *Comentario 2* Se podría replicar que la Definición 3.27 podría reemplazarse por una más sencilla, a saber

$$x \textit{ existe en } A =_{df} x \in A.$$

Es cierto, pero la relación de pertenencia no es una función, por lo cual no permite dar el paso siguiente, la introducción de un predicado de existencia:

DEFINICIÓN 3.28 El *predicado de existencia relativa* (o *contextual*) es la función cuyos valores son enunciados

$$E_A: A \rightarrow \text{Conjunto de enunciados que contienen } E_A$$

tal que $\ulcorner E_A(x) \urcorner$ es verdadero si y sólo si $\chi_A(x) = 1$.

En consecuencia, la vieja y aburrida cuestión de si la existencia es un predicado se muestra ambigua: la respuesta depende de si se habla de $\exists$ o de E_A. En tanto que el particularizador o cuantificador no es un predicado (una función cuyos valores son enunciados), el concepto de existencia relativa que acabamos de presentar, o sea E_A, *es* un predicado.

Los ejemplos siguientes muestran cómo manejar los conceptos χ_A y E_A. En ellos, 'M' simboliza el conjunto de caracteres de la mitología griega, 'c' a Quirón, 'C' simboliza «es un centauro» y 'S' «es sabio».

El centauro Quirón existe en la mitología griega.

$$Cc \ \& \ \chi_M(c) = 1, \text{ o } Cc \ \& \ E_M c.$$

Algunos de los centauros (que existen) en la mitología griega son sabios.

$$(\exists x)\,(Cx \ \& \ Sx \ \& \ \chi_M(x) = 1), \qquad \text{o}$$
$$(\exists x)\,(Cx \ \& \ Sx \ \& \ E_M(x)).$$

Todos los centauros existen en la mitología griega y ninguno de ellos es real.

$$(x)\,(Cx \Rightarrow (\chi_M(x) = 1 \ \& \ \chi_\Theta(x) = 0)), \qquad \text{o}$$
$$(x)\,(Cx \Rightarrow (E_M(x) \ \& \ \neg E_\Theta(x))).$$

χ_A y E_A son conceptos de existencia relativa sin cualificar en tanto el conjunto de referencia A permanezca sin especificar. En concordancia con el Postulado 3.4 de la Sección 1.3, debemos distinguir dos conceptos específicos de existencia, a saber, los de existencia conceptual (o existencia en un contexto conceptual) y existencia real (o existencia en el mundo). Las respectivas definiciones son obvias:

DEFINICIÓN 3.29

(i) *x existe conceptualmente* $=_{df}$ Para algún conjunto C de constructos, $E_c x$;

(ii) *x existe realmente* $=_{df}$ Para algún conjunto Θ de cosas, $E_\Theta x$.

Por ejemplo, el teorema de Pitágoras existe en el sentido de que pertenece a la geometría euclídea. Sin duda, no ingresó a la existencia antes de que alguien de la escuela pitagórica lo inventara. Pero desde entonces ha tenido una existencia conceptual, vale decir, en la geometría. Esto no quiere decir que la geometría posea una existencia autónoma, o sea, que subsista de manera independiente de que alguien la piense. Sólo quiere decir que establecemos la indispensable simulación de que el constructo existe, a condición de que pertenezca a un cuerpo de ideas, lo que constituye un circunloquio para decir que los constructos existen en la medida que haya seres racionales capaces de pensarlos. De seguro, este modo de existencia no es ni el de la existencia ideal (o existencia en el Mundo de las Ideas) ni el de la existencia real o física. Si invertimos la metáfora de la caverna de Platón podemos decir que las ideas no son más que sombras de las cosas y las sombras, como bien es sabido, no tienen existencia autónoma. Con todo, es necesario tener en cuenta la existencia conceptual, no sólo para dar razón de la lógica, la matemática y la semántica, sino también para comprender mejor la existencia real.

La Definición 3.29(ii) afirma que *todas* las cosas y *únicamente* las cosas tienen la propiedad de existir realmente, propiedad representada por E_Θ. Esto reivindica el principio de Aristóteles de que *la existencia real es singular.* No existen cosas generales: todo existente real es un individuo. (En consecuencia, el nombre de la teoría general de sistemas en inglés, '*general systems theory*' debería ser '*general theory of systems*'). Lo que es general es una propiedad (por ejemplo, una ley), un atributo (en cuyo caso se puede llamar universal), una proposición o un conjunto de proposiciones (por ejemplo, una teoría).

Una consecuencia de la Definición 3.29 es el principio no aristotélico de que sólo los objetos con todas sus propiedades son reales. En particular, no son reales ni la sustancia indiferenciada, sin propiedades, ni la propiedad sin un sustrato: se trata de ficciones. Asimismo, a pesar de Quine, ser el valor de una variable acotada no garantiza la existencia, ni siquiera una imprecisa existencia conceptual.

Otra consecuencia de que hayamos identificado ser con ser una cosa (o ser miembro del conjunto de las cosas) es el

TEOREMA 3.7 (i) El universo existe realmente. (ii) Cada parte del universo existe realmente.

Demostración La parte (i) se sigue del Postulado 3.3, la Definición 3.4 y la Definición 3.29. La parte (ii) es consecuencia del Corolario 3.2 conjuntamente con la Definición 3.29.

Comentario 1 Nuestro postulado de identidad de los existentes y las cosas equivale a afirmar que el universo *es el universo de las cosas* y que no existe ningún otro mundo. Los otros mundos inventados por los filósofos idealistas, así como por Chwistek (1949) y Popper (1968), son otras tantas ficciones. *Comentario 2* La identidad de existentes y cosas no degrada a los pensamientos: sólo les niega una existencia independiente. En el Capítulo 10 del Volumen 4 consideraremos «la persona x piensa la idea y» como «x *cerebra* y»,[#] de manera muy semejante a «x hace y». *Comentario 3* No identificamos la realidad [*reality*] con la realidad efectiva [*actuality*]: por lo que sabemos, la realidad podría ser la unión de la realidad efectiva y la posibilidad real. Más sobre esto en la Sección 2.4 del Capítulo 4. *Comentario 4* La función existencia χ_Θ y el predicado de existencia E_Θ nos permiten caracterizar de manera muy sucinta a los principales contendientes sobre la cuestión de los existentes concretos o materiales:

Materialismo $(\exists x)\ (\chi_\Theta(x) = 1)$, o $(\exists x)\ E_\Theta x$,
Inmaterialismo $(x)\ (\chi_\Theta(x) = 0)$, o $(x)\ \neg E_\Theta x$.

4.4. La nada y la existencia virtual

Ser, existir realmente, es ser una cosa. En consecuencia, el no ser, o ser nada, es no ser una cosa. Hay varias maneras de tratar el concepto ontológico de nada, según el contexto. He aquí algunas:

(i) b no existe realmente: $\neg(b \in \Theta)$ o $\chi_\Theta(b) = 0$ o $\neg E_\Theta b$;

(ii) no hay nada de la clase K: $K = \varnothing$ o $(x)\ (\chi_K(x) = 0)$ o $(x)\ \neg E_K x$;

(iii) no existe nada con la propiedad P: $\mathcal{S}(P) = \varnothing$ o

[#] En el original «*x brains y*». Este uso del verbo *to brain* es tan neológico como nuestra traducción ('cerebrar'), ya que su sigificado estándar es el de asestar un fuerte golpe en la cabeza. [N. del T.]

$$(x)\ (\chi_{\mathscr{S}(P)}(x) = 0) \quad \text{o} \quad (x)\ \neg E_{\mathscr{S}(P)}x.$$

En cada caso, la nada o no ser se identifica con la no existencia, no con una entidad positiva o incluso con una propiedad positiva. Los tres enunciados son negativos, ya que equivalen bien a «No hay elementos en el conjunto dado» o bien a «El individuo dado no pertenece a ningún conjunto». En consecuencia, es absurdo considerar la nada como una entidad, del modo en que lo hacen Heidegger y Sartre, y menos sentido tiene afirmar que la existencia es la síntesis del ser y el no ser, como hizo Hegel.

Los conceptos de ser (una cosa) y no ser (o nada) son dicotómicos. En otras palabras, χ_A es una función bivaluada y E_A es un predicado unario. O sea, no hay grados intermedios de existencia, sea ésta real o conceptual: la expresión 'grado de existencia' (o 'grado de realidad') es un *flatus vocis*.[#] Pese a Tomás de Aquino y a algunos de sus seguidores (Maritain, por ejemplo), nada hay entre el ser y el no ser: no hay grados del ser. Por la misma razón, resulta absurdo sostener que, si bien las cosas perceptibles pueden existir, sus constituyentes atómicos no poseen una existencia autónoma, sino que en realidad se trata de fórmulas matemáticas o del resultado de observaciones humanas repetidas, como solía querer la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica.

Sin embargo, en la física teórica actual hay dos desconcertantes conceptos que, a primera vista, no denotan ni la existencia ni la nada. Uno es el concepto de vacío, propio de las teorías cuánticas de campos; el otro es el concepto de cuanto (por ejemplo, partícula o fotón) virtual. A continuación mostraremos que su estatus no es el mismo: que el vacío físico es una cosa con todas las de la ley, en tanto que una partícula virtual es una ficción.

El vacío al cual se refieren las teorías cuánticas de campos es el campo en su estado de energía estacionario más bajo. Cuando el campo está en este estado no deja de ser un campo: lo único que sucede es que no tiene ningún cuanto (ningún fotón en el caso electrodinámico). Por consiguiente, es una hipótesis de la electrodinámica que, si bien es posible que no haya materia eléctricamente cargada en una región dada del espacio, siempre hay un campo electromagnético: el campo nulo o trasfondo fluctuante siempre presente. Tanto es así que se asigna al vacío propiedades físicas definidas, que se hacen manifiestas cuando un intruso (materia o radiación)

[#] Un mero nombre. [N. del T.]

lo perturba. En resumen, *campo de vacío* $\neq$ *nada*. Lo único que ocurre es que la palabra 'vacío' se ha tornado inadecuada, porque ha adquirido una nueva significación: designa un nuevo concepto. El nuevo panorama del mundo físico sintetiza el atomismo con el plenismo, al suponer que cada rincón del mundo está pleno de cosas, si bien la materia y la radiación sólo existen en unidades discretas o cuantos y no en todas partes.

En cuanto a las partículas y fotones virtuales, se supone que tienen una vida extremadamente corta, que son esencialmente inobservables y que participan en procesos (virtuales) que no conservan la energía. Por ejemplo, a menudo, la interacción entre un protón p y un neutrón n se representa con las partículas encarnadas en o transmitidas por un pión virtual π^+ emitido por p (vale decir, $p \rightarrow n + \pi^+$) y posteriormente reabsorbido por n (o sea, $n + \pi^+ \rightarrow p$). La energía obtenida en el primer proceso virtual se pierde en el segundo, de suerte que no hay un cambio de energía neta. Además, el período es tan breve (del orden de los 10^{-24} segundos) que el proceso resulta inobservable, por lo cual la hipótesis se considera fuera del alcance de la crítica experimental. Extrañamente, las mismas personas que aceptan estas suposiciones, *(a)* reconocen que las fórmulas básicas de la teoría implican el teorema de conservación de la energía y *(b)* alaban de la boca para afuera la metodología operacionista.

Por fortuna, no hay ninguna necesidad de tomar en serio estas partículas virtuales, vale decir, de asignarles un grado de realidad a medio camino entre la realidad plena y la nada. Toda la idea de partícula virtual deriva de dos supuestos filosóficos erróneos. Uno es la creencia realista ingenua de que todo término de una serie infinita (o toda rama de un diagrama de Feynman) tiene que poseer un correlato real. El otro es la hipótesis corpuscular de que las partículas son las únicas realidades y, por ello, toda interacción entre ellas debe estar mediada por otra partícula, aun cuando ésta tenga que ser virtual. Si se descartan ambas opiniones, se hace manifiesto que tanto las partículas virtuales como los sospechosos intercambios en los que supuestamente están involucradas son vanas ficciones (Bunge, 1970a).

4.5. Criterios de existencia

Nuestra teoría de las cosas no ofrece criterios para establecer ni para refutar una hipótesis que afirme que tal o cual objeto existe realmente.

El ofrecer criterios de existencia no es tarea de la metafísica, del mismo modo que no es competencia de la filosofía de la matemática proponer criterios de existencia de objetos matemáticos definidos, tales como, por ejemplo, las soluciones a una ecuación dada. Sin embargo, se puede ofrecer un indicador general en cada caso.

En la matemática, se dice que un objeto existe en un contexto dado si cumple ciertas condiciones –por ejemplo, una ecuación–, vale decir, si posee ciertas propiedades y mantiene ciertas relaciones con los demás objetos matemáticos. Asimismo, en la ciencia fáctica, se puede inferir que algo existe si mantiene ciertas conexiones (no sólo relaciones) con otras cosas cuya existencia haya sido establecida o, por lo menos, supuesta. (Cf. Peirce, 1909, 6.318). Resumiremos esta idea en el siguiente

CRITERIO (metodológico) 3.1 Un objeto diferente del mundo entero existe realmente si se muestra que está conectado con algún objeto real diferente de sí mismo.

Se trata de un criterio de existencia relativa. La existencia absoluta no se puede establecer, aun cuando no sea necesario excluirla. A fin de mostrar que x existe debemos exhibir sus conexiones con una cosa y cuya existencia no se pone en duda en la investigación en cuestión. En particular, pero no necesariamente, este segundo objeto puede ser un observador humano. En este caso, si x es real, entonces x será un eslabón de una cadena que acabe en el observador y, y la existencia de x se hará sentir en algún cambio de y, tal como, por ejemplo, la repentina percepción de x por y.

Nuestro criterio de realidad no debe tomarse como una condición y mucho menos como una definición de realidad. Nuestra definición de «realidad» no puede ser otra que esta:

DEFINICIÓN 3.30 Sea Θ el conjunto de todas las cosas y $[\Theta]$ su agregación. Luego,

$$\textit{La realidad} =_{df} [\Theta] = \square = \textit{el mundo}.$$

La realidad de un objeto consiste en ser parte del mundo. Y la conjetura acerca de la realidad de un objeto tiene que *ponerse a prueba* a través de sus efectos perceptibles inmediatos o mediatos, pero no *consiste* en ello. Afirmar lo contrario condena la mayor parte de la realidad a la no existencia y equivale a confundir ser con un criterio de ser, tal como viene haciendo el operacionismo desde la época de Peirce (cf. 5.406). Si el mundo estuviera compuesto por una única cosa física indivisible, aún sería real, pero no habría nadie para experimentarlo o usarlo, ni siquiera para rechazar el Criterio 3.1.

En la metafísica, los enunciados de existencia real deben tomarse de manera tan seria y crítica como se toman en la ciencia. Debemos considerar que indican (correcta o incorrectamente) referentes externos reales o posibles, así como que podemos corregirlos a la luz de nuevo conocimiento (vale decir, de nuevos datos, nuevas conjeturas o teorías alternativas). En tanto que el escepticismo metódico está prescrito en este caso como en todo lo demás, el escepticismo sistemático no servirá. O sea, podemos dudar de la existencia de alguna cosa en particular, pero si deseamos comprobarla –es decir, poner a prueba la hipótesis de su existencia– según el Criterio 3.1 tenemos que suponer sin pestañear y al menos por el momento la existencia de algo más. En la práctica, suponemos la existencia del mundo entero y no lo identificamos con su parte explorada.

El suponer mi propia existencia es algo necesario, pero no suficiente, para poner a prueba una hipótesis cualquiera acerca de otra cosa. Una razón es que el solipsismo no explica ni siquiera el propio nacimiento, por no mencionar el de mi enemigo. El solipsismo tampoco explica las diferentes alteraciones –algunas agradables, otras desagradables– que afectan al sujeto. Ni siquiera el fenomenismo basta si deseamos lograr la objetividad y la eficiencia. Considérense las oraciones 'Hay automóviles' y 'Los automóviles tienen por lo menos tres ruedas'. Para un realista –sea ingenuo o sea crítico– estas oraciones significan exacta y literalmente lo que dicen. Pero no para un fenomenista: éste las considerará abreviaciones de 'Un sujeto tiene una percepción del tipo automóvil' y 'Cada vez que alguien tiene una percepción de tipo automóvil puede contar por lo menos tres percepciones del tipo rueda' o algo por el estilo. Este subjetivismo lo enajena de la ciencia y lo puede meter en problemas en la vida cotidiana. La causa de ello es que si el coche del fenomenista se estropeara en medio del desierto, cuando aquél solicitara un remolque no podría decir que *hay* un coche varado en el desierto, mucho menos que las ruedas no son el problema, que todavía *están* en el coche, aunque nadie las perciba. A menos que pida a la deidad que, en el ínterin, se encargue de la percepción por él, el fenomenista tendrá que inventar algunas complicadas oraciones contrafácticas que ningún mecánico estaría interesado en desenmarañar (por ejemplo, "Si yo estuviera ahora allí, percibiría..."). A todos los fines prácticos, el fenomenista deberá adoptar una filosofía realista, a menos que esté dispuesto a dejar que su coche se haga humo filosófico. En resumen, el fenomenista utilizará, con seguridad, un lenguaje ambiguo y engañoso.

Por último, con respecto al concepto de existencia en un mundo posible y, peor todavía, el de existencia en varios mundos posibles diferentes, se los dejaremos al metafísico de los mundos posibles. El ontólogo del mundo real, tan ocupado en su intento por averiguar cómo es el mundo real, no tiene tiempo para estas ficciones de la imaginación ociosa.

5. Comentarios finales

Hemos desarrollado un concepto de cosa a partir de las nociones de individuo indiferenciado (Capítulo 1) y de propiedad (Capítulo 2). Hemos definido una cosa como un individuo sustancial que posee propiedades sustanciales. Y hemos identificado ser, o existencia real, con ser una cosa. Además, hemos supuesto que el mundo contiene cosas, únicamente. De hecho, hemos definido la realidad como la agregación de todas las cosas y, por cierto, de un número no numerable de ellas.

Sin duda, hay objetos conceptuales, pero no son constituyentes del mundo y mucho menos de un mundo propio. Los constructos –sean útiles, sean ociosos– son ficciones. En consecuencia, si bien en nuestra ontología toda clase de objetos se divide en una clase de cosas y otra de constructos, a éstos no les asignamos una existencia independiente. No se trata de que sólo los individuos sean reales: sólo las cosas individuales –sean simples o estén agregadas– existen realmente.

Las cosas se pueden representar de manera esquemática mediante lo que hemos llamado esquemas funcionales. Un esquema funcional es un conjunto determinado provisto de una función de estado que posee cierto número de componentes. Esta función de estado está sometida a restricciones: los enunciados legales que, se supone, representan pautas objetivas. Estas leyes limitan los estados concebibles en los que puede estar una cosa: restringen el dominio de la función de estado para la cosa.

El conjunto de todos los estados nomológicamente posibles de una cosa constituye su espacio de estados o, mejor dicho, el espacio de estados para la cosa en la representación o esquema funcional dado.

Las cosas se presentan en clases naturales o especies, vale decir, en clases de cosas que poseen («obedecen») las mismas leyes. La familia de clases naturales o especies no tiene una estructura booleana, sino una propia: es un semirretículo. La razón de ello es la falta de isomorfismo entre el conjunto de las propiedades sustanciales y el conjunto de los predicados. Una clase natural constituye un agrupamiento natural porque se apoya en un puñado de leyes, pero no es una cosa real: se trata de un constructo, sólo que no de uno ocioso.

El universo consiste en y consta de cosas, pero no todo miembro del tipo de las cosas es efectivamente real. Hay cosas posibles, tales como mis tataranietos. Por consiguiente, hay propiedades y hechos posibles. Además, toda cosa efectivamente real posee algunas propiedades efectivamente reales u otras que puede –o no– adquirir. Y necesitamos este concepto antes de abordar el problema del cambio, ya que nada sucederá a menos que, para comenzar, sea posible, vale decir, a menos que existan cosas con estados posibles. Procedamos, por ende, a estudiar el problema de la posibilidad.

Capítulo 4

La posibilidad

Hemos supuesto que el mundo está constituido únicamente por cosas (Capítulo 3). Pero las cosas cambian y, tal como observó Aristóteles, si ocurre un cambio, para comenzar, éste era posible (*Metafísica*, IX, 3). La semilla germina porque posee la potencialidad de hacerlo. *A* se transforma en *B* sólo si está en la naturaleza de *A* el que *A pueda* convertirse en *B*: esta posibilidad de *A* es una de sus propiedades. (La inversa es falsa: *A* puede tener la capacidad de transformarse en *B*, pero esta posibilidad puede no realizarse a causa de circunstancias adversas).

La posibilidad es, por consiguiente, inherente a la realidad, porque ésta es cambiante. En otras palabras, hay posibles reales no sólo conceptuales. Un mundo inmutable carecería de posibilidad real, al igual que un mundo cambiante sometido a un Destino inescrutable y ajeno a este mundo. Pero la realidad no es ni inmutable ni esclava del Destino, por lo cual sí hay posibles reales. O sea, podemos dividir la realidad entre la realidad efectiva o actualidad,[#] y la posibilidad real. (Si, en cambio, la realidad fuese idéntica a la realidad efectiva, no podría haber posibilidad real). En consecuencia, nuestra metafísica es posibilista, no actualista.

[#] Desde luego ‘actualidad’ no designa aquí el concepto de intervalo de tiempo presente ni, mucho menos, el de colección de noticias de interés público inmediato. Se trata, en cambio –el texto lo indica claramente–, de la venerable noción de ser actual o en acto (frente a ser potencial) elaborada por Aristóteles, entre otros. [N. del T.]

Con todo, la admisión de la posibilidad, incluso de la posibilidad objetiva, no implica que se la considere irreducible. En efecto, un actualista puede reconocer la posibilidad, pero intentará comprenderla en términos de actualidad. Seguramente confundirá la posibilidad real con su comprobación o su medida. Por consiguiente, tenderá a definir lo posible como lo que es, o bien como lo que será (Diodoro Crono). O, afirmará que 'posible' significa "a veces", en tanto que 'necesario' significa "siempre" (Russell, 1919). O, por lo menos, menospreciará la importancia de la posibilidad, haciéndola depender de la actualidad o fundándola de algún modo en ella, como en el caso de Sellars (1963, Capítulo 3) y Smart (1963, p. 23).

En este capítulo veremos que, en efecto, hay un sentido de 'posible' que es parcialmente reducible a la actualidad, como cuando un niño al cual se da la oportunidad de comer un caramelo no dejará de actualizar su inclinación o disposición natural a hacerlo. Llamaremos *disposición causal* a esta clase de propiedad posible que se actualiza siempre que se presenten las condiciones necesarias. Sin embargo, hay otro concepto, más profundo, de posibilidad que no es reducible como el anterior y parece haber escapado a la atención de la mayoría de los filósofos. Un átomo en un estado excitado puede desintegrarse –con o sin perturbación externa– a uno de diversos niveles inferiores de energía, ninguno de los cuales está predeterminado. Y el entrecruzamiento de genes que tiene lugar durante la fertilización de un óvulo también es aleatorio: puede realizarse cualquiera de un enorme número de genomas. Esta clase de posibilidad real, que llamaremos propensión aleatoria, no es explicada por el actualismo.

La posibilidad real se admitirá, en consecuencia, como una categoría ontológica que no debe ser confundida ni con la posibilidad conceptual ni con la incertidumbre. Y comenzaremos distinguiendo varias clases de posibilidad. Antes de nada, estudiaremos los conceptos de posibilidad conceptual, pero sólo para mostrar que son filosóficamente secundarios, ya que son totalmente reducibles. A continuación de ello, analizaremos los dos conceptos de posibilidad real o física. En el transcurso de nuestro estudio no necesitaremos utilizar la lógica modal, que resultará ser una herramienta demasiado basta.

1. La posibilidad conceptual

1.1. Conceptos de posibilidad

Hay varias especies de posibilidad. Todas pueden clasificarse dentro de uno de dos géneros: *posibilidad conceptual* y *posibilidad real*. La primera se refiere a fórmulas (en proposiciones particulares), en tanto que la segunda se refiere a ítems fácticos. Con referentes tan completamente diferentes, uno bien podría preguntarse si acaso no existe algo así como un concepto neutro de posibilidad que incluya a los otros dos, tal como presupone la lógica modal. En todo caso, antes de analizar los diversos conceptos de posibilidad, exhibámoslos globalmente: véase la Tabla 4.1.

1.2. Los cuatro conceptos de posibilidad conceptual

En lo que sigue, 'K' designará un cuerpo de conocimiento (un conjunto de datos, conjeturas, teorías, etc.). Antes de nada propondremos la

DEFINICIÓN 4.1 Sea p una fórmula arbitraria y A un subconjunto de un cuerpo de conocimiento K. Luego,

(i) p es *lógicamente posible relativamente a* $A =_{df} A$ no implica $\neg p$;

(ii) p es *matemáticamente posible relativamente a* $K =_{df}$ Existe un modelo M en K tal que p es satisfacible (formalmente verdadera) en M;

(iii) p es *epistémicamente posible relativamente a* $K =_{df} p$ y K son mutuamente compatibles (vale decir, p no contradice ningún miembro de K);

(iv) p es *metodológicamente posible relativamente a* $K =_{df}$ No existe ningún método m en K tal que las comprobaciones realizadas con m rechacen p relativamente a K;

(v) p es *conceptualmente posible relativamente a* $K =_{df} p$ es lógica, matemática, gnoseológica o bien metodológicamente posible relativamente a K.

Ejemplo 1 Toda proposición no contradictoria es lógicamente posible, ya que todos los sistemas lógicos aceptan el principio de no contradicción. *Ejemplo 2* La fórmula «$x^2 = -1$» es matemáticamente posible, puesto que es satisfecha, por ejemplo, en el campo de los números complejos (a saber, por $x := i$). *Ejemplo 3* Por lo que sabemos, la teoría de Oparin acerca del origen de la vida podría ser verdadera. *Ejemplo 4* Las predicciones calculadas con ayuda de teorías científicas específicas son metodológicamente posibles, puesto que sus negaciones son, por principio, refutables.

Tabla 4.1 Conceptos de posibilidad

Género	Especie	Referentes	Esbozo del significado
Conceptual o *de dicto*	Lógica	Enunciados	No contradicción
	De la teoría de modelos	Fórmulas parcialmente interpretadas	Satisfacibilidad en un modelo
	Epistémica	Enunciados fácticos	Consistencia con lo que se sabe
	Metodológica	Fórmulas	Comprobabilidad o confirmabilidad
Real o *de re*	φ-óntica	Hechos físicos	Legalidad
	ψ-óntica	Hechos físicos	Concebibilidad (compatibilidad con las leyes psicológicas y con el trasfondo de conocimientos del sujeto)
	Deóntica	Acciones humanas	Que no están prohibidas (por la moral o las normas positivas)
	Pragmática	Acciones humanas	Factibilidad

Comentario 1 Nuestra definición reduce la posibilidad conceptual a la actualidad conceptual. En consecuencia, hace que el concepto de posibilidad conceptual sea redundante (en principio, no en la práctica). *Comentario 2* Los diversos conceptos refinados por la Definición 4.1 son conceptos de *posibilidad condicional* o *relativa*. La posibilidad absoluta se puede considerar como posibilidad condicional oculta, sencillamente mediante la adición de cuantificadores existenciales adecuados. Por ejemplo, podríamos establecer la siguiente definición sobre la base de la Definición 4.1(i):

p es lógicamente posible $=_{df}$ No existe ningún conjunto de premisas que implique $\neg p$. Pero uno se pregunta cuál sería la utilidad de este concepto, dado que todo juicio responsable se hace dando por supuestas ciertas premisas. *Comentario 3* Nuestros conceptos de posibilidad conceptual no satisfacen ningún sistema de lógica modal. En particular, la posibilidad lógica, tal como la hemos definido antes, satisface solamente uno de los axiomas comunes a todas las lógicas modales, a saber «Si p, luego es posible que p». (Véase Hughes & Cresswell, 1968). Además, los sistemas estándar de lógica modal tratan de la posibilidad absoluta, no de la posibilidad condicional (relativa).

El único ingrediente de la lógica modal que necesitamos es la definición de Aristóteles de necesidad $\Box$) en términos de posibilidad ($\Diamond$), a saber:

p es necesaria $=_{df}$ No es posible que $\neg p$ o $\Box p =_{df} \neg\Diamond\neg p$.

Esta definición, junto con la Definición 4.1, implica la

DEFINICIÓN 4.2 Sea p una fórmula arbitraria y A un subconjunto de K. Luego,

(i) p es *lógicamente necesaria relativamente a* $A =_{df} A$ implica p;

(ii) p es *matemáticamente necesaria relativamente a* $K =_{df} p$ es satisfecha en todo modelo contenido en K;

(iii) p es *epistémicamente necesaria relativamente a* $K =_{df} K$ supone p.

(iv) p es *metodológicamente necesaria relativamente a* $K =_{df}$ Para todos los métodos m en K, las comprobaciones realizadas con m confirman p relativamente a K.

(v) p es conceptualmente necesaria relativamente a $K =_{df} p$ es lógica, matemática, epistémica o metodológicamente necesaria relativamente a K.

Una vez más, ninguno de estos conceptos de necesidad conceptual coincide con los que utiliza la lógica modal. Para comenzar, los nuestros son conceptos de necesidad relativa (contextual) no absoluta (independiente del contexto). Además, nuestra noción de necesidad lógica, que se reduce a la relación de implicación, viola el axioma modal: $\Box(p \Rightarrow q) \Rightarrow (\Box p \Rightarrow \Box q)$. En cambio, satisface $\Box q \Rightarrow \Box(p \Rightarrow q)$, como puede verse con ayuda del principio de demostración condicional. (En todo caso, ¿qué ganaríamos construyendo una lógica modal heterodoxa?). En resumen, la lógica modal no nos sirve porque es incapaz de dilucidar ninguna de las nociones útiles de posibilidad conceptual y –adelantando un resultado que obtendremos en la sección siguiente– porque resulta igualmente impotente para abordar la noción de posibilidad real o física. Aunque por razones diferentes, coincidimos con el veredicto de que «La lógica modal no tiene la menor importancia filosófica» (Bergmann, 1960).

1.3. La posibilidad conceptual: relativa

Finalizamos haciendo hincapié en la relatividad de la posibilidad conceptual, así como en su diferencia respecto de la posibilidad real. Las fórmulas, al igual que los hechos efectivamente reales [o, abreviado, reales], no son posibles ni imposibles en sí: sólo son. Lo que es posible o imposible con respecto a una fórmula es alguna propiedad relacional de ellos, tal como su ejemplificación, comprobación, confirmación o prueba de que es compatible con cierto cuerpo de conocimiento. En otras palabras, la posibilidad no es inherente a las fórmulas, sino que es una relación entre ellas y determinados ítems conceptuales. Vale decir, un enunciado de la forma «Es posible que *p*» no está al mismo nivel que *p*, sino que es un metaenunciado. Más aún, este metaenunciado pertenece a la pragmática, no a la semántica y mucho menos a la ontología.

No es el caso del estado de cosas: éste es o bien real o bien posible de manera absoluta, en el sentido de que su posibilidad no depende de ningún cuerpo de conocimiento. Las proposiciones tales como «Ese átomo puede desintegrarse durante el próximo minuto» y «Este organismo es viable» son enunciados objeto, no metaenunciados; suponen la noción de posibilidad real, no la de posibilidad conceptual. Además, estos dos conceptos no están relacionados, salvo de forma lingüística. Para empezar, sus clases de referencia no se superponen: en tanto que los referentes del concepto de posibilidad conceptual son las proposiciones, los del concepto de posibilidad real son los hechos. Por consiguiente, sus significados son radicalmente distintos. En consecuencia, la tentativa de hacer que una única teoría (la lógica modal) abarque ambos conceptos está condenada a fracasar de manera tan lamentable como el intento de describir los anillos de boda y los anillos algebraicos con la misma teoría.

Y hasta aquí llegamos con la posibilidad conceptual.

2. La posibilidad real

2.1. Los hechos

A diferencia del concepto de posibilidad conceptual, el de posibilidad real (o física u óntica) se refiere a ítems fácticos. Vale decir, el enunciado de que *p* es realmente posible asigna la propiedad de ser realmente posible al referente fáctico de la proposición p, no a la propia p. Tanto es así que una proposición de la forma «p es realmente posible», en la que p se describe como un hecho, puede ser, a su vez, conceptualmente imposible relativamente a un cuerpo de conocimiento.

Nuestros referentes son, entonces, ítems fácticos: cosas, propiedades de las cosas, clases de cosas, estados de las cosas y cambios de estado de las cosas. Los ítems fácticos son representados por descripciones definidas y proposiciones tales como las siguientes:

Cosa b	La cosa b existe.
Propiedad P	La cosa b posee la propiedad P.
Clase K	La cosa b es de la clase K.
Estado s	La cosa b está en el estado s.
Suceso e	La cosa b experimenta el cambio e.

Estos conceptos, con excepción del de suceso, han sido dilucidados en el capítulo anterior; la noción de cambio se aclarará en el capítulo siguiente. Ahora procederemos a distinguir dos clases de ítems fácticos: estar en un estado dado y pasar de un estado a otro.

DEFINICIÓN 4.3 Sea X una cosa. Luego, f es un *hecho* que involucra a X sii

(i) f es un *estado* de X, vale decir, si existe un espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(X)$ para X tal que $f = s \in S_{\mathbb{L}}(X)$, o bien

(ii) f es un *cambio de estado* (o *suceso*) de X, es decir, existe un $S_{\mathbb{L}}(X)$ tal que $f = e = \langle s, s' \rangle \in S_{\mathbb{L}}(X) \times S_{\mathbb{L}}(X)$.

Adviértase que, tal como lo hemos concebido aquí, un estado es siempre un estado de una cosa e, igualmente, un suceso es siempre un cambio del estado de una cosa. Nótese también que los estados en cuestión son únicamente los legales, tal como indica el subíndice $_{\mathbb{L}}$. (Sin embargo, hay cierta ambigüedad con respecto a 'suceso', porque si bien un par $\langle s, s' \rangle$ puede ser legal, también puede suceder que haya más de un modo de pasar de s a s'. En otras palabras, $\langle s, s' \rangle$ no representa un único suceso, sino más bien una colección de sucesos. Esta ambigüedad, que desaparecerá en el Capítulo 5, no nos perjudicará por ahora).

A continuación, regresemos a la caracterización estructural de la noción de hecho. Llamemos F al conjunto de hechos tal como lo define la Definición 4.3. Este conjunto es, desde luego, el dominio sobre el cual están definidos los predicados «es realmente posible» y «es [efectivamente] real» (o «es el caso»). (Por ejemplo, tenemos «El estado s de la cosa b es realmente posible» y «La cosa b está realmente en el estado s»). Estos dos conceptos se pueden caracterizar en términos sencillos del siguiente modo. Supóngase, como resulta habitual en las aplicaciones de la teoría de la probabilidad, que todo ítem fáctico particular se considera (representa mediante) un conjunto, aun si éste contiene un único elemento o, incluso, está vacío. O sea, el conjunto F de los hechos se considerará una familia de subconjuntos de un conjunto, no importa cuál. Convéngase que, si x pertenece a F y no es vacío, luego x es un hecho posible no especificado, en tanto que si $x = \varnothing$, x es imposible. Supóngase, además, que los posibles se pueden conjugar, separar o invertir. Vale decir, si x e y son ítems fácticos realmente posibles (es decir, miembros no vacíos de F) también lo serán $x \cap y$, $x \cup y$ y $x^{-1} = F - x$. La intersección de x e y representa la composibilidad de x e y, la unión representa la posibilidad alternativa y la inversa o complemento x^{-1} de x representa todo aquello que es posible cuando x no lo es. (Adviértase que x^{-1} no es un hecho sino un conjunto de hechos).

En contraste, los reales o bien ocurren o bien no ocurren, y algunos de ellos acontecen de forma conjunta, pero nunca disyunta. En efecto, no existe el hecho real de que ocurre el hecho a o el hecho b, incluso cuando la proposición correspondiente pueda ser verdadera. Tampoco acontece x^{-1}. Ni el complemento único ni la inversa de un hecho real existen. La complementación y la disyunción son signos de posibilidad (así como de que se trata de constructos), no de actualidad. Además, si x e y son realmente posibles, llamaremos $A(x)$ a la actualización o acontecimiento de x, $A(x^{-1})$ a que x no ocurra, $A\ (x \cap y)$ al acontecimiento tanto de x como de y, y $A\ (x \cup y)$ al de al menos uno de estos hechos. (Véase la tabla 4.2). Y establecemos el

POSTULADO 4.1 Sea F una colección de conjuntos, $\cap$, $\cup$ y $^{-1}$ las operaciones booleanas sobre F, y A una función que aplica F en un conjunto de proposiciones. Luego, la estructura $\mathscr{F} = \langle F, \cap, \cup, ^{-1} \rangle$ es un espacio de hechos sii

(i) $\langle F, \cap, \cup, ^{-1} \rangle$ es un álgebra de conjuntos;

(ii) F representa el conjunto de los hechos (reales o posibles) que involucran una(s) cosa(s) X;

(iii) A es una función que aplica F a un conjunto de proposiciones referentes a la(s) cosa(s) X, tal que

Tabla 4.2 Posibilidad real y actualidad. Condición: $x, y \neq \varnothing$

Fórmula	Interpretación	Fórmula	Interpretación
$x \in F$	x es un hecho posible	$A(x)$	Sucede x
$x \cap y \in F$	x e y son composibles	$A(x \cap y)$	Suceden x e y
$x \cup y \in F$	x o y es un hecho posible	$A(x \cup y)$	Sucede x o sucede y
$x^{-1} \subset F$	aquello que es posible cuando x no lo es, es un hecho posible	$A(x^{-1})$	No sucede x

(a) para todo $x \in F$, $A(x^{-1}) = \neg A(x)$;

(b) para todo $x, y \in F$, $A(x \cap y) = A(x)$ & $A(y)$, vale decir, es un morfismo de la oposición y la multiplicación;

(iv) para todo $x, y \in F$ diferente del conjunto vacío, $A(x)$ representa el acontecimiento (actualización, realización) de (la posibilidad) x, $\neg A(x)$ el no acontecimiento de x y $A(x)$ & $A(y)$ el acontecimiento tanto de x como de y.

Se puede probar fácilmente que la función actualización A tiene, además, las siguientes propiedades:

TEOREMA 4.1 Sea A la función proposicional sobre F definida por el Postulado 4.1. Luego, para todo $x, y \in F$

(i) $A(x \cup y) = A(x) \vee A(y)$;

(ii) $A(x^{-1} \cup y) = A(x) \Rightarrow A(y)$;

(iii) $A(x \cap x^{-1}) = A(x)$ & $\neg A(x)$.

Este último resultado es, por supuesto, la razón para interpretar $\varnothing$ como imposibilidad.

Nuestro Postulado 4.1 va a contracorriente de un conjunto alternativo de axiomas de presencia (Suppes, 1970, p. 38), que supuestamente caracteriza la noción de acaecimiento o actualización. Estos axiomas no cumplen esta función, aunque sólo sea porque el primero de ellos afirma que si x e y son sucesos y ocurre x, la unión $x \cup y$ también acontece. En nuestra ontología no hay hechos disyuntos: solamente hay posibilidades y proposiciones disyuntivas acerca de hechos, sean estos posibles o reales.

El Postulado 4.1 constituye sólo una caracterización parcial del contraste posibilidad/actualidad. Nos dice, únicamente, que *(a)* el conjunto de acaecimientos es un subconjunto propio del conjunto de posibilidades y *(b)* la estructura algebraica de este último es más rica que la del primero. El proceso de actualización se puede representar, en cierto modo, como un colapso de la estructura más rica a la más pobre: en este proceso, la unión (o disyunción) y la complementación (o negación) quedan olvidadas. Sin embargo, esta caracterización en términos de un funtor olvidadizo resulta insuficiente, porque no especifica *(a)* cuál subconjunto de los hechos conceptualmente posibles (porque eso es lo que F es) es el de los hechos *realmente* posibles y *(b)* cuál subconjunto de la colección de hechos realmente posibles se actualiza. Estos defectos no se pueden solventar proponiendo una teoría más compleja del mismo estilo: ninguna teoría a priori, independiente de consideraciones acerca de leyes y circunstancias, puede identificar el conjunto de hechos realmente posibles, por no mencionar el de los actuales. Por lo tanto, pongámonos en contacto con la realidad.

2.2. La posibilidad crisípea

El profundo filósofo estoico Crisipo definió la posibilidad como «aquello a lo cual nada impide ocurrir aun cuando no ocurre». Compárese esta opinión con la de Diodoro Crono, según el cual «lo posible es aquello que o es o bien será verdad». (Cf. Kneale & Kneale, 1962; Rescher & Urquhart, 1971). Según esta última perspectiva, los conceptos de actualidad y posibilidad son coextensivos: lo que jamás sucede es imposible. (Véase también Hartmann, 1938). En consecuencia, las nociones de potencialidad no realizada y de oportunidad perdida no tienen lugar en esta concepción. Con todo, tal como observaron Aristóteles y Crisipo, no todos los posibles se realizan: «por consiguiente, es posible que esta joya se rompa, incluso si eso no ocurre jamás» (Cicerón, *De fato* IX).

La definición de posibilidad real de Crisipo depende de la noción de carencia de restricción o ausencia de inhibición. Esta noción se puede interpretar del siguiente modo:

DEFINICIÓN 4.4 Si x e y son hechos posibles (vale decir, $x, y \in F$), x *inhibe* (o *impide*) el acaecimiento de $y =_{df} A(x) \Rightarrow \neg A(y)$.

Por ende, la idea de Crisipo, tal vez, la ofrezca la

DEFINICIÓN 4.5 Un hecho es *realmente posible* si no existe ningún hecho actual cuyo acaecimiento impide el del primero: si x es un hecho, luego

$$\Diamond_r x =_{df} \neg(\exists y)\ (y \text{ es un hecho } \&\ y \text{ acaece } \&\ y \text{ impide } x)$$
$$\Leftrightarrow \neg(\exists y)\ (y \in F\ \&\ A(y)\ \&\ (A(y) \Rightarrow \neg A(x))).$$

En otras palabras, es (realmente) posible todo aquello que está libre de trabas para suceder. En consecuencia, la libertad, sea física o moral, se iguala con la posibilidad real. (La física y la ética adquieren, por consiguiente, una base metafísica común). El concepto de imposibilidad real resulta de negar los dos miembros de la definición anterior: un hecho es *realmente imposible* si es inhibido por otro hecho. Inferimos, entonces, que si algo es imposible, luego, no es el caso. Este corolario es precisamente la contraposición de «Todo lo que es el caso es posible».

No desarrollaremos la noción crisípea de posibilidad porque adoptaremos una concepción alternativa, la de posibilidad nomológica, que explicaremos a continuación.

2.3. La posibilidad real como legalidad

Nuestro punto de partida será la concepción de posibilidad como legalidad de Bolzano: «lo físicamente posible es aquello que no contradice ninguna de las llamadas leyes de la naturaleza» (Bolzano, 1821, art. 'Möglich', p. 65). Sin embargo, no podemos adoptar esta definición de manera literal, porque nosotros consideramos que las leyes son pautas objetivas, no proposiciones y, en consecuencia, no podemos utilizar el concepto de coherencia que aparece en el enunciado de Bolzano.

Para comenzar, recordemos la Definición 4.3 de hecho como estado legal o bien como cambio de estado legal, de una cosa. Supondremos que estos son los únicos hechos realmente posibles. Vale decir, identificaremos la posibilidad real con la posibilidad nómica. De forma más explícita, supondremos el

POSTULADO 4.2 Un hecho es *realmente posible* sii f es un hecho legal, es decir, sii $f \in S_{\mathbb{L}}(X)$ o bien $f \in S_{\mathbb{L}}(X) \times S_{\mathbb{L}}(X)$ para una cosa X y un espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(X)$. En símbolos,

$$\Diamond_r f \text{ si y sólo si } f \text{ es un hecho legal.}$$

Adviértase que ésta no es una definición, sino una hipótesis y que, además, la hemos usado de manera subrepticia cuando construimos la Definición 4.3. En realidad, el Postulado 4.2 se puede ignorar o aun negar. Una ontología empirista –una ontología que no reconoce leyes objetivas, como en el caso de la de Hume y la de James– no necesita ese supuesto. Y una metafísica religiosa –a menos que sea de tipo cartesiano o leibniziano, en las cuales la Deidad siempre se rige por leyes– negará nuestro axioma.

De nuestro postulado se siguen inmediatamente las siguientes consecuencias:

(i) *Los hechos individuales ilegales son imposibles.*

(ii) Si –como Hume– definimos milagroso como ilegal, inferimos que *los milagros son imposibles.* Si se rechaza esta conclusión, el concepto de posibilidad real se debe redefinir o abandonar (tal vez junto con el de ley o pauta objetiva). Cualquiera de las dos alternativas sería congruente con una ontologia empirista.

(iii) También la alatoriedad ha sido definida como ilegalidad, pero esto no resulta satisfactorio. Primero, en tanto que el predicado «legal» es pertinente para hechos individuales, «aleatorio» sólo es pertinente para conjuntos de hechos, tales como, por ejemplo, la secuencia de aciertos y fallos de disparos a un blanco cuya localización es desconocida. Lo opuesto a la legalidad es el caos o ausencia de leyes, aun de leyes estocásticas (probabilísticas). Pero también el caos es una propiedad de conjuntos de hechos, no de los hechos individuales. Por ejemplo, si recogemos diversos hechos (posibles o actuales) acerca de cosas no relacionadas, podemos formar una colección ilegal de hechos individuales legales. (Piénsese en un conjunto formado por una colección arbitraria de sucesos astrofísicos, genéticos y políticos). En resumen, a diferencia del caos, la aleatoriedad –una característica básica de la realidad, si hemos de creerle a la ciencia contemporánea– es compatible con la legalidad o necesidad nómica. Más sobre estos temas en la Sección 6.4.

(iv) Llegamos a la conclusión de la falsedad de la identificación de la legalidad con la necesidad, tan difundida desde el siglo XVII, transformada en obsoleta por el nacimiento de las teorías estadísticas a partir de la década de 1870, atacada por Peirce y revivida recientemente por Montague (1960, reimpreso en 1974). Tal identidad es, de hecho, la piedra angular de la semántica y la metafísica de los mundos posibles de Montague, sobre lo cual diremos más en la Sección 6. En resumidas cuentas, la legalidad no es idéntica a la necesidad, sino a la posibilidad (real). Más acerca de la necesidad, a continuación.

2.4. La necesidad fáctica

La necesidad conceptual, se recordará, se puede introducir en términos de posibilidad conceptual por medio de la definición de Aristóteles, a saber: $\Box p = \neg\Diamond\neg p$. No podemos utilizar esta noción para obtener la noción de necesidad nómica a partir de la de posibilidad nómica, que es coextensiva (aunque no cointensiva) con la de legalidad. Un motivo de ello es que la negación es aplicable a las proposiciones, no a los hechos: la expresión "$\neg x$" no tiene sentido cuando x denota un hecho. Desde luego, podríamos interpretar "$\neg x$" como «No es el caso que x», vale decir, como $\urcorner A(x)$. Pero aun así, la definición de Aristóteles no nos sería de ayuda, porque la necesidad real o fáctica posee un componente del cual la legalidad carece: la *circunstancia*.

En efecto, para que algo ocurra realmente y, por ende, sea (realmente) necesario, no sólo debe «obedecer» ciertas leyes, sino también «contar con circunstancias favorables». Ni siquiera un enunciado legal determinista (no estocástico) describe cuál es el caso realmente: *todo enunciado legal describe posibles*, sin la ayuda, por supuesto, de operadores modales. (Piénsese en el haz de trayectorias en el espacio de estados que representa el conjunto de soluciones de una ecuación de evolución). Con mayor razón, las leyes estocásticas describen posibles aún más débiles, a saber, hechos aleatorios, hechos que acaecen sólo con una frecuencia fija. En suma, podemos conservar la definición aristotélica de posibilidad para el ámbito conceptual –tal como hicimos en la Sección 1.2–, pero resulta inaplicable en ciencia y en ontología científica. En éstas, en cambio, necesitamos la

DEFINICIÓN 4.6 Sea $x \in F$ un hecho realmente posible (o sea, legal). Luego,

(i) x es *necesario* sii existe otro hecho $y \in F$, llamado la *circunstancia* x, tal que $A(y) \Rightarrow A(x)$;

(ii) x es *contingente* sii x no es necesario.

Por este motivo, se da mejor razón (descripción, explicación o predicción) de los estados de cosas reales o situaciones con la ayuda tanto de enunciados legales como de proposiciones que representan las circunstancias (idiosincrasias, condiciones iniciales, condiciones de contorno, etc.) conjuntamente necesarios para que realmente ocurran las situaciones de interés, siempre o bien con una frecuencia fija. En otras palabras, las reflexiones previas constituyen el fundamento ontológico del conocido esquema de explicación nomológica:

$$\text{Leyes, Circunstancias} \vdash \text{Hechos.}$$

A primera vista, la necesidad o contingencia de un hecho o situación depende exclusivamente de la clase de ley involucrada: las leyes deterministas abarcarían los hechos necesarios, las leyes no deterministas abarcarían los hechos contingentes. Para bien o para mal, este esquema es falso. En realidad, las leyes deterministas pueden «cubrir» hechos contingentes y las leyes estocásticas pueden «cubrir» hechos necesarios. Un ejemplo conocido del primer tipo es el impacto de una partícula clásica en una cuña: véase la Figura 4.1. En este caso, hay dos trayectorias igualmente probables, vale decir, que el problema tiene dos soluciones diferentes que están a la par. Y un ejemplo conocido del segundo tipo es el lanzamiento repetido de una moneda: a largo plazo, con seguridad tendrán lugar ciertas secuencias regulares, tales como cinco caras seguidas, y eso ocurrirá, de hecho, con una probabilidad fija.

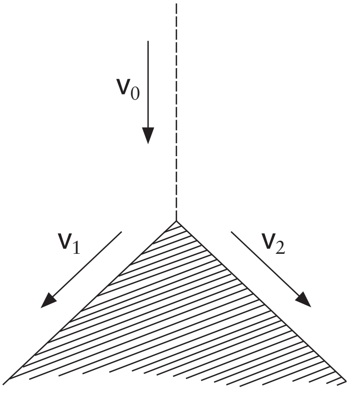


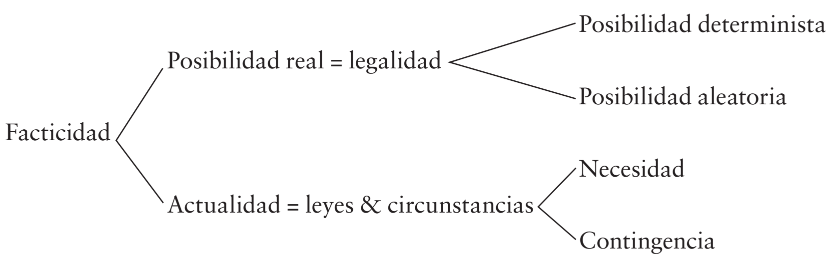
Figura 4.1. Una partícula (o un chorro de algún fluido) choca contra una cuña rígida y se desvía o bien a la izquierda, o bien a la derecha con la misma velocidad. Para una discusión clásica, véase Truesdall (1974).

En resumidas cuentas, el esquema explicativo $\ulcorner L, C \vdash \mathit{Hecho} \urcorner$ engloba cuatro versiones diferentes:

Ley determinista, C_1
$\vdash$ Hecho necesario (acaece siempre que C_1 o C_2)
Ley estocástica, C_2
Ley estocástica, C_3
$\vdash$ Hecho contingente (ocurre con una probabilidad fija siempre que C_3 o C_4)
Ley determinista, C_4.

Para finalizar esta subsección, diremos que la posibilidad real es idéntica a la legalidad. Pero la necesidad real no es definible en términos de posibilidad y negación. No importa, dado que el concepto de necesidad no desempeña ningún papel en la ciencia fáctica, salvo como sinónimo de actualidad: todo lo que sucede debe ser el caso y viceversa. Poco se gana reemplazando «Está nevando» por «Necesariamente está nevando» o «La probabilidad de nevada es necesariamente $^3/_4$» y mucho menos por «La probabilidad de que nieve es necesariamente $^3/_4$». *El prefijo ‘necesariamente” es innecesario*. Un hecho particular real es un hecho y nada más. Llamarle ‘necesario’ es sólo otra forma de decir que, en lugar de ser meramente posible, ése es el caso.

En resumen, tenemos la siguiente partición del ámbito fáctico:



2.5. Criterios de posibilidad

Si se piensa que la investigación científica es, en último término, la búsqueda de leyes objetivas (Bunge, 1967a, Volumen I, Capítulo 6) y si la legalidad se juzga igual a la posibilidad nómica (Postulado 4.2), se debe considerar la ciencia como el estudio de lo realmente posible. De hecho, toda actividad científica de tipo teórico se ocupa no sólo de hechos reales, sino también de posibilidades reales. Así pues, la mecánica teórica –a diferencia de la mecánica experimental o de la mecánica aplicada– investiga todos los movimientos posibles de todos los cuerpos posibles. La química teórica –a diferencia de la química experimental y de la ingeniería química– estudia, en principio, todos los compuestos químicos posibles. Y la genética teórica estudia todas las recombinaciones y mutaciones génicas posibles.

En otras palabras, todas las ciencias teóricas utilizan el concepto de cosa posible y hasta el de estado posible de una cosa posible, para gran consternación de los filósofos actualistas. Pero, por supuesto, la noción de individuo posible de este tipo no se ha caracterizado con el auxilio de la lógica modal ni de la teoría de modelos, mucho menos con el de algún sistema de metafísica de los mundos posibles. En la ciencia fáctica teórica, una cosa posible, tal como un compuesto posible, un organismo posible o una comunidad posible, es un miembro arbitrario de la clase de los referentes hipotéticos de la teoría de interés, vale decir, un individuo que posee («obedece», «satisface») los enunciados legales de la teoría. En cambio, la noción de mundo posible (que actualmente se identifica con la de modelo de una teoría abstracta) es ajena a la ciencia fáctica: no tenemos acceso a otro mundo sustancial diferente del mundo real. Es verdad, la posibilidad es inherente al mundo, pero no hay un portador especial de la posibilidad, no hay ningún mundo sustancial posible además del mundo real. Toda cosa concreta posee ciertas posibilidades que excluyen otras.

Lo que vale para la posibilidad teórica, vale también, cambiando lo que haya que cambiar, para la imposibilidad teórica. Toda teoría excluye diversas posibilidades de igual modo que admite otras. Desde luego, cualquier teoría puede equivocarse. Pero a medida que la cantidad y variedad de las teorías que concuerdan acerca de la imposibilidad de algo aumentan, las oportunidades de una «prohibición» también se incrementan. Aun así, se debe mantener la mente abierta. Por ejemplo, la mecánica relativista excluye la posibilidad de que haya partículas superlumínicas (taquiones). Pero la teoría no tiene nada que decir acerca de entidades no corpusculares que viajen más rápido que la luz. Además, una buena teoría acerca de tales entidades sería de ayuda a la hora de emprender su búsqueda.

Toda teoría que hipotetice la existencia de una cosa o un hecho no previsto por las teorías precedentes debe respetar estas últimas en sus propios «dominios de validez» (sus propias extensiones) y debe gozar del respaldo de pruebas independientes o, alternativamente, estimular la búsqueda de éstas. Y toda teoría que hipotetice la existencia de cosas «prohibidas» por teorías bien corroboradas, debe decir lo que esas teorías nos dicen acerca de las cosas que esas teorías «permiten». De más está decir que cuando se listan los imposibles se debe tener en cuenta hasta la lógica. La metafísica, en cambio, no está en condiciones de admitir o excluir ningún hecho. Lo que la metafísica puede hacer es aclarar algunos de los conceptos incluidos en los juicios científicos de posibilidad o imposibilidad.

Cuando desplazamos nuestra atención de la realidad a la ciencia, el discurso sobre los hechos se convierte en el discurso acerca del conocimiento de los hechos y, en particular, una definición de posibilidad puede transformarse en un criterio de posibilidad. Si tuviésemos que adoptar el concepto de posibilidad real de Crisipo (Sección 2.2) deberíamos adoptar el siguiente criterio de posibilidad: *si x es un hecho, se sabe que x es realmente posible sii no se sabe de nada que impida x*. Pero dado que hemos propuesto una modificación de la noción de posibilidad de Bolzano (Sección 2.3), no podemos aceptar el criterio crisípeo de posibilidad. En su lugar sugeriremos un criterio inspirado en el siguiente ejemplo.

Un químico teórico decidirá afirmar que un compuesto desconocido es realmente (químicamente) posible sii *(a)* sus componentes existen, *(b)* pueden asumir una configuración estable y *(c)* es teóricamente posible un mecanismo de reacción que tenga como resultado la molécula hipotetizada. En resumen, el enunciado de posibilidad del químico es la conclusión de un argumento (bastante complejo) que incluye elementos tanto teóricos como empíricos. Generalizaremos este procedimiento y propondremos el

CRITERIO 4.1 Sea una teoría T y E un cuerpo de pruebas empíricas expresadas en el lenguaje de T y pertinentes respecto de T. Además, supóngase que tanto T como E se refieren a un hecho x descrito por una proposición $p[x]$. Luego, x es *realmente posible según* T y E sii $T \cup E$ no implica $\neg p[x]$.

Éste es un criterio de posibilidad teórica y nos retrotrae a lo que ya se conoce (o se supone que se conoce), no a nuevas observaciones o a teorías futuras. Si acaece un hecho teóricamente posible, puede considerarse un confirmador de la teoría. Si no ocurre, la teoría no se ve afectada y no tenemos argumentos contra la posibilidad de ese hecho. Y si acontece un hecho teóricamente imposible, deberemos corregir o bien la teoría o bien las pruebas utilizadas para inferir la imposibilidad.

Ahora considérese el criterio de posibilidad sugerido por el concepto diodóreo de posibilidad, a saber: *se sabe que el hecho x es posible sii se observa que x ocurre en algún momento*. Este criterio es bastante inútil, dado que sólo sirve *ex post facto*: no me permite contemplar mi propia muerte como posible hasta que es demasiado tarde para reflexionar sobre ello. Y una vez que se ha observado que el hecho ocurre, la actitud razonable es esperar y ver, no declararlo imposible. Estos no son defectos que puedan repararse y, a la vez, mantener el espíritu de la concepción de posibilidad de Diodoro: son propios de toda tentativa de formular un criterio empírico de posibilidad. En efecto, semejante criterio debe referirse a objetos reales y, por tanto, es incapaz de distinguir la posibilidad de la realidad. En otras palabras, la observación de que algo es el caso sólo prueba que eso era posible o necesario. Como conclusión, los criterios empíricos de posibilidad son imposibles. Debemos contentarnos con un criterio teórico como el descrito anteriormente. Lo cual está bien, dado que el concepto de posibilidad es teórico, no empírico.

3. La disposición

3.1. Idea intuitiva

Hasta aquí nos hemos ocupado del concepto general de posibilidad real. Ahora estudiaremos dos conceptos especiales de posibilidad real. Uno es el de *disposición*, o *propensión causal*, tal como lo ejemplifican la fragilidad y la susceptibilidad heredada a la tuberculosis. El otro concepto es el de *propensión aleatoria*, tal como lo ilustra un fotón que puede pasar por cualquiera de dos ranuras de una pantalla. Comencemos por el primero, que es el más conocido de los dos, por lo que probablemente no sea el más básico.

Una fuerza puede causar un cambio de posición relativa, un montoncillo de azúcar puede disolverse, una célula muscular puede dividirse, una persona alfabetizada puede leer, una sociedad viable puede sobrevivir. Estas potencialidades se realizarán siempre que se les proporcione el entorno o los medios adecuados: de lo contrario, no se realizarán. (Repetimos: esas potencialidades se realizarán *siempre* que se presenten las condiciones adecuadas).

Además, tal como observó el Estagirita, la potencia precede al acto. (Y, recíprocamente, como es igualmente obvio. Por consiguiente, nacer con un cerebro normal y ser alimentado adecuadamente son condiciones necesarias para que una persona sea capaz de aprender y de hacer ciertas cosas, aun en el caso de que jamás las aprenda o las haga). La disposición para hacer x es, entonces, previa a hacer x. En consecuencia, un trozo de materia realmente refractará la luz siempre que, para comenzar, sea refractante: y si es refractante, lo es tanto si está expuesto a la luz como si no. (No confundir una propiedad con las comprobaciones de la misma). Recuérdese la *Óptica* de Newton (1782, ed., Volumen IV, p. 6): «La refrangibilidad de los rayos de luz es su disposición a ser refractados o desviados de su trayectoria al pasar de un cuerpo o un medio transparente a otro». Un rayo de luz tiene la propiedad de refrangibilidad todo el tiempo, aun cuando se propaga en el vacío. Asimismo, un cristal mantiene su refrangibilidad mientras está encerrado en un cofre.

Una peculiaridad de las disposiciones (o propensiones causales) es que se presentan en pares. En consecuencia, (todos) los rayos de luz son refrangibles si (algunos) cuerpos son refrangibles. Y toda cerradura puede ser abierta por (alguna[s]) llave(s). Tengamos presente esa complementariedad, ya que se presentará en la definición misma de propiedad disposicional.

La peculiaridad de una propensión *causal*, en contraste con una propensión aleatoria, es que la primera nunca deja de actualizarse cuando se dan las circunstancias adecuadas. La solubilidad se torna disolución real, la divisibilidad división, la viabilidad existencia continuada y así sucesivamente. En breves, aunque torpes, palabras: *Disposición* & *Circunstancia* = *Actualidad*. De forma equivalente: la disposición es igual a la actualidad menos ciertas circunstancias. Más precisamente: una disposición es una condición que, si bien necesaria, no es suficiente. Correspondientemente, si x es un hecho, luego:

$$\text{Si } (\exists y)\,(y \in F \;\&\; y \neq x \;\&\; (A(y) \Rightarrow A(x))), \quad \text{luego} \quad \Diamond_r x.$$

(La inversa es falsa, ya que la posibilidad real no es agotada por la propensión causal). La posibilidad real de este tipo, vale decir, la disposición, es entonces una condición insuficiente: la actualidad se produce tan pronto como se repara este defecto, es decir, cuando se presentan las condiciones faltantes. (Para una interpretación semejante pero independiente, véase Raggio, 1969).

Las circunstancias favorables o desfavorables para la actualización de una potencialidad de una cosa *x* suponen una cosa *y* distinta de *x*, que forma parte del entorno de *x*. Para que la disposición se actualice, esta otra cosa, que llamaremos complemento de la primera, debe poseer una disposición que encaje con la de la cosa de interés. En consecuencia, una llave dada podrá abrir, siempre que se la una con una cerradura adecuada con la disposición a abrirse. Lo que exhibe una propiedad real o manifiesta es la totalidad íntegra formada por la cosa de interés y su complemento. (Véase la Figura 4.2). El esquema general es el que sigue:

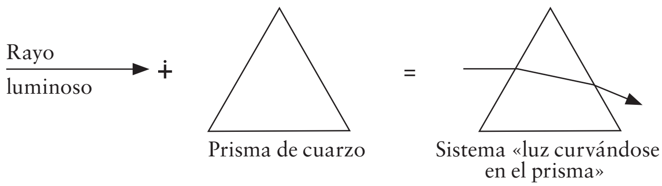


Figura 4.2. Dos entidades, cada una de ellas con una disposición dada, se agregan para formar una tercera entidad que posee una propiedad manifiesta dada.

> *La cosa x, con la disposición P, se une con la cosa y que posee la disposición Q para formar la cosa $z = x + y$, con la propiedad manifiesta R.*

No nos vendrán mal unos pocos ejemplos más. *Ejemplo 1* Si un trozo de material imantable se coloca dentro de un campo magnético, se torna magnético. *Ejemplo 2* Un huevo fertilizado localizado en un nido el tiempo suficiente y a la temperatura adecuada se transforma en un polluelo. *Ejemplo 3* Con las susceptibilidades heredadas a la tuberculosis, la esquizofrenia y otras enfermedades sucede lo mismo: el entorno realiza o bien inhibe esa disposición innata.

Finalizamos esta subsección señalando que el grado de un predicado no es un indicador de si la propiedad que representa es manifiesta o disposicional y, si el caso es este último, si es causal o estocástica. Así pues, las capacidades humanas son, a menudo, propiedades intrínsecas (aunque, desde luego, sólo se exhiben ante ciertas circunstancias). En cambio, la velocidad de un macrosistema es una propiedad mutua (de la cosa y sus sistema de referencia) y manifiesta. Otro tanto ocurre con las propensiones aleatorias. En consecuencia, la localizabilidad de un sistema cuántico es intrínseca en el caso de una sola «partícula» y mutua en el de un par de «partículas» correlacionadas.

3.2. Dilucidación

La reflexiones informales de la subsección previa quedan resumidas y exactificadas en la siguiente convención, que utiliza únicamente los conceptos que se han dilucidado en los capítulos anteriores:

DEFINICIÓN 4.7 Sea $z = x \dotplus y$ una cosa compuesta por cosas diferentes x e y. Además, sean P una propiedad de x y Q una propiedad de y, con Q posiblemente igual a P. Luego, se dice que P es una *disposición* (o *propensión causal*) de x y Q el *complemento* de P con respecto a y, sii existe una tercera propiedad R, tal que

(i) $z = x \dotplus y$ posee R;
(ii) $z = x \dotplus y$ no posee ni P ni Q;
(iii) ni x ni y poseen R.

A qué llamamos *disposición* y a qué complemento es cuestión de punto de vista o convención. Por lo tanto, se dice que el azúcar es soluble (en agua), pero esto es así porque el agua posee la disposición de disolver el azúcar.

Ejemplo Un agregado de reactivos no empezará a reaccionar a menos que estén a la presión y la temperatura requeridas, condiciones que son propiedades del entorno inmediato del agregado. Cuando esto ocurre, la disposición para reaccionar de cierta manera se actualiza y, finalmente, emergen cosas nuevas que no poseen todas las propiedades de los reactivos, pero que, en cambio, están caracterizadas por propiedades nuevas determinadas por las anteriores.

Ahora estamos en condiciones de dilucidar una noción que se ha incorporado al conocimiento común:

DEFINICIÓN 4.8 La totalidad de las disposiciones (propensiones causales) de una cosa se llama *potencialidad causal* de esa cosa. Vale decir, si x es una cosa, luego

$$\Pi c(x) = \{P \in p(x) \mid P \text{ es una disposición de } x\}.$$

DEFINICIÓN 4.9 Una cosa posee *mayor potencialidad causal que* otra sii la potencialidad de la primera incluye la de la segunda. O sea, si x e y son cosas, luego

$$\Pi c(x) > \Pi c(y) =_{df} \Pi c(x) \supseteq \Pi c(y).$$

Ejemplo 1 La potencialidad de un organismo individual consta de su constitución genética o programa genético. Una constitución pobre da como resultado escasas posibilidades de una experiencia rica, del mismo modo que un entorno pobre excluye muchas posibilidades de usar la constitución genética. *Ejemplo 2* Poco antes del surgimiento de la biología molecular, se consideraba ridículo ver el cigoto humano como un hombre en potencia o a la bellota como un roble potencial. Ambas afirmaciones hubieran sido descartadas con risas, por ser consideradas reliquias del preformacionismo. Pero la biología contemporánea es preformacionista en la medida que sostiene que la totalidad del individuo maduro está programada en el cigoto. *Ejemplo 3* Las facultades o capacidades psicológicas rechazadas por el conductismo han regresado. Así pues, N. Chomsky, G. A. Miller y otros psicolingüistas hacen hincapié en la diferencia entre capacidad y desempeño, un caso de la diferencia entre potencialidad y actualidad. En consecuencia, la conducta verbal no coincide con la capacidad lingüística, pese a que se trata de su única manifestación ostensiva y, por ende, observable. En este caso, la capacidad es la de pronunciar y comprender oraciones nuevas para el hablante. Pero esta potencialidad puede ser o bien actualizada o bien frustrada por el entorno.

3.3. La potencia y el acto

Para Aristóteles, la potencia era anterior al acto: la actualidad era el desplegarse de la potencialidad. Ésta, a su vez, se dejaba sin explicar. La ciencia moderna ha mantenido la distinción entre potencia o disposición, por un lado, y acto o propiedad manifiesta por el otro, hecho suprimido por la filosofía de la ciencia positivista. Así pues, Newton afirmaba que: «Los colores del objeto no son más que una disposición a reflejar tal o cual tipo de rayo más intensamente que los restantes» (Newton, 1782, Volumen IV). Hay otras propiedades físicas que se pueden describir mediante paráfrasis de este enunciado: piénsese en la conductividad, la permeabilidad magnética, la refrangibilidad o la viscosidad. Todas son potencias o disposiciones de tipo causal. Estos ejemplos han sugerido la conjetura de que «todas las propiedades físicas (y psicológicas) son disposicionales» (Popper, 1957, p. 70). Pero esto sería imposible, aunque sólo fuese porque el concepto mismo de potencia únicamente tiene sentido en relación con el de acto, tal como se ve, por ejemplo, en la Definición 4.7.

Los actualistas han intentado ignorar la larga lista de disposiciones exhibidas por la ciencia moderna. Con frecuencia presentan argumentos contra las disposiciones objetivas fundándose en una gnoseología empirista. Afirman, y con razón, que solamente las cosas reales y las propiedades manifiestas son públicamente observables. (Pero no parecen percatarse de que no podríamos prescindir de conceptos disposicionales tales como «observable»). A toda costa intentarán definir y, por ende, eliminar las disposiciones en términos de propiedades observables. Una de sus tácticas preferidas es el método de Carnap de introducir conceptos disposicionales por medio de oraciones reductoras bilaterales (Carnap, 1936-1937), del siguiente modo:

> Se asigna la disposición D a la cosa x, sometida a la condición de comprobación C, en el preciso caso en que x exhibe la conducta B: $Cx \Rightarrow (Dx \Leftrightarrow Bx)$.

Pero, por supuesto, éste es un *criterio*, no una *definición*. Además, en las teorías científicas, mientras algunas propiedades disposicionales (como la solubilidad) están definidas, otras (como la conductividad eléctrica) no: se las toma como indefinidas. Algo parecido sucede con las propiedades psicológicas: aun cuando la agresión real es un indicador (ambiguo) de ira, sería desacertado definir la ira como una disposición a atacar, tal como se ha sugerido en otro sitio (Ryle, 1949), aunque sólo fuera porque eso no explica los ataques a sangre fría. Tampoco podemos definir el pensamiento como una disposición a hablar, la picazón como una disposición a rascarse y así sucesivamente: esto no es más que confundir las pruebas con la referencia (Feigl, 1967). Pensar, sentir una comezón y otras cosas por el estilo son tan reales como hablar y rascarse:

que no sean públicas o intersubjetivas es otro asunto, un asunto del que se ocupa la metodología, no la ontología.

Las disposiciones son tan importantes como las propiedades manifiestas, si bien éstas pueden explicar las primeras, tal como se muestra en la Definición 4.7. La posibilidad de disolver no es lo mismo que la disolución real: en tanto que esta última es una propiedad de un sistema complejo (soluto *cum* solvente), la primera es una propiedad de uno de sus componentes. Por ejemplo, la solubilidad de la sal en el agua estriba en ciertas características de la estructura cristalina de la sal seca, la cual al juntarse con el agua da lugar a la disolución real. Podemos afirmar que las disposiciones de tipo causal están arraigadas en las propiedades manifiestas. Pero esto no equivale a eliminarlas. Además, como se verá en la Sección 5, las disposiciones causales no pueden explicarse de esta manera: por el contrario, ayudan a explicar las propiedades manifiestas. Para concluir, el actualismo no puede defender su posición.

3.4. Las posibilidades no realizadas y los contrafácticos

El lector advertirá que no hemos utilizado contrafácticos en nuestra dilucidación de la disposición. Sin embargo, es una creencia muy difundida que las expresiones disposicionales deben estar definidas en términos de condicionales subjuntivos. Por consiguiente, normalmente se sostiene que

> x es frágil $=_{df}$ Si se *lanzara* x contra un cuerpo rígido, x se *rompería*

y

> x puede hacer $y =_{df}$ Si se *colocara* x en las circunstancias adecuadas, x *haría* y.

Esta opinión parece tener su origen en la confusión operacionista entre significado y comprobación: puesto que la rotura real es prueba de la fragilidad y el desempeño de la capacidad, se infiere que eso es lo que son. La ciencia no ha prestado atención a esta doctrina: si son definibles, vale decir, si no son primitivos, los disposicionales se definen con ayuda de oraciones enunciativas, únicamente. Obsérvese cualquier tratado o artículo científico.

Hay buenas razones para evitar el modo subjuntivo. Primero, evitar la ambigüedad. En efecto, la misma oración subjuntiva se puede interpretar, por lo menos, de dos maneras diferentes (Bunge, 1968d). De hecho, es posible interpretar 'Si *A* fuera el caso, entonces resultaría *B*' de cualquiera de las siguientes maneras:

Si A, *luego B*. *Pero no A*. (Ninguna inferencia).

o como la inferencia

Si A, *luego B*. *Pero no B*. (Inferencia tácita: no *A*).

Esta ambigüedad torna insostenibles los condicionales subjuntivos para la comunicación científica excepto, por supuesto, a nivel del lenguaje heurístico. Otra razón para evitar los condicionales subjuntivos es que no son proposiciones y, por lo tanto, no se rigen por las reglas de la lógica. En consecuencia, las «definiciones» de fragilidad y capacidad del inicio de esta subsección son una farsa.

De ello no se debe sacar la conclusión de que las oraciones subjuntivas son inútiles: en efecto, poseen considerable capacidad heurística o sugerente. Sin embargo, *(a)* se las debe utilizar con precaución y *(b)* se las debe evitar totalmente en la reconstrucción de las teorías científicas, así como al informar los resultados experimentales. En todo caso, en lugar de ser capaces de arrojar alguna luz, los condicionales subjuntivos necesitan aclaración.

Y hasta aquí hemos llegado con las disposiciones de tipo causal. Pasemos ahora a un tipo de disposición que no es reducible del modo en que lo son las disposiciones causales: la propensión aleatoria. Pero antes de hacerlo, nos convendrá ejecutar el interludio de la probabilidad.

4. La probabilidad

4.1. El concepto abstracto

Recordemos lo esencial de la teoría que subyace a todo enunciado técnico (por oposición a los del lenguaje corriente) de la forma «La probabilidad de *a* es igual a *b*» o, en forma abreviada, «$Pr(a) = b$». *Pr* es una función de variable real sobre cierto conjunto F caracterizado únicamente por su estructura. Para empezar, F es una familia de subconjuntos de cierto conjunto abstracto S, vale decir, $F \subseteq 2^S$. Además, F está cerrada respecto de uniones e intersecciones finitas, así como con respecto a la complementación. En consecuencia, F está cerrada respecto de uniones finitas y diferencias simétricas. Por lo cual F tiene estructura de anillo. Además, F es una *σ-álgebra*, en el sentido de que sus miembros obedecen el álgebra de conjuntos expandida a las uniones numerablemente finitas. Llamaremos F al *espacio de probabilidades* o *apoyo* de la medida Pr. (En ocasiones se llama a F *espacio de sucesos* o *espacio muestral*, nombres tan sugerentes como fuera de lugar en la matemática pura). Ahora estamos en condiciones de establecer la

DEFINICIÓN 4.10 Sea F una σ-álgebra sobre un conjunto no vacío S y Pr una función de variable real sobre F. Luego, Pr es una *medida de probabilidad* sobre F sii

(i) Pr es una función de variable real no negativa sobre F. [Vale decir, para todo miembro A de la colección F de subconjuntos del conjunto básico S, $Pr(A) \geqslant 0$];

(ii) Pr es completamente aditiva en F. [Vale decir, para toda colección infinita numerable de conjuntos disyuntos pareados de F, la probabilidad de su unión es igual a la suma de sus probabilidades individuales. En particular, si $A, B \in F$ y $A \cap B = \varnothing$, luego $Pr(A \cup B) = Pr(A) + Pr(B)$];

(iii) Pr está normalizada. [O sea, $Pr(S) = 1$].

Adviértanse los siguientes puntos. Primero, la teoría basada en estas únicas suposiciones es *semiabstracta* en la medida que no especifica la naturaleza de los elementos del espacio de probabilidad F. En cambio, el recorrido de Pr está totalmente interpretado, por ello lo de *semi*. Ésta es la razón de que la teoría de probabilidades encuentre aplicación prácticamente en todas partes, de la física a la metafísica. Segundo, una manera obvia de satisfacer el requisito de que F sea una σ-álgebra es considerar $F = 2^S$. En efecto, todo conjunto potencia es una σ-álgebra. Tercero, los primeros dos axiomas definen una *medida* y el tercero la convierte en una medida de probabilidad. Esto muestra que el fundamento de la teoría de la probabilidad no es otra cosa que un capítulo de la teoría de la medida, no de la filosofía. Sin embargo, esos fundamentos, como otros cualesquiera, son insuficientes para sus aplicaciones. En efecto, mientras el espacio de probabilidades F no se especifique, vale decir, mientras no se construya un modelo, la probabilidad no tiene nada que ver con la posibilidad, la propensión o la aleatoriedad. Detengámonos un momento en este importante punto metodológico.

Una *aplicación* de una teoría abstracta o semiabstracta cualquiera a un dominio de hechos consiste en unir a la teoría dos elementos diferentes: *(a)* un modelo o esbozo de un objeto o dominio de hechos a los cuales se aplica la teoría y *(b)* una interpretación de los conceptos básicos de la teoría en términos de los objetos a los cuales se aplica. En particular, una aplicación de la teoría de la probabilidad consiste en unir la Definición 4.10 (o de algunas de sus consecuencias) con *(a)* un modelo estocástico –por ejemplo, un modelo de lanzamiento de moneda o un modelo de urna– y *(b)* un conjunto de supuestos interpretativos (o semánticos) que esbozan el significado específico que se le asignará a un punto x del espacio de probabilidades F, así como a su medida $Pr(\mathrm{x})$. En tanto no se hagan estas suposiciones adicionales, la teoría resulta indistinguible de la teoría de la medida: sólo esas especificaciones convierten la teoría semiabstracta en una aplicación de la teoría de la probabilidad o de parte de ella. (Para una dilucidación de la noción de grado de interpretación o su inversa, el grado de abstracción, véase la Sección 3.4 del Capítulo 7 del Volumen 2).

Ahora bien, antes de proceder a construir un modelo de una clase de hechos, debemos identificarlos, es decir, escoger un espacio de probabilidades definido («concreto») F. Éste puede o no representar una colección de estados o cambios de estados de una cosa. (La mayoría de los teóricos de la probabilidad llaman estado o suceso[#] a un punto x de F, represente éste o no un estado o un suceso). A continuación debemos asegurarnos de que F sea una σ-álgebra o, de otro modo, debemos fabricar una a partir del conjunto básico dado S. Si S es el espacio de estados de una cosa y si deseamos hablar de la probabilidad de un estado, debemos tomar una desviación: puesto que los elementos de S son puntos, no conjuntos, tenemos que construir el conjunto potencia 2^S. En otras palabras, interpretaremos el modismo 'la probabilidad del estado *s*' como «la probabilidad del conjunto de un único elemento $\{s\}$». Una vez que se ha atendido esta cuestión matemática, podemos proceder a interpretar los primitivos F y Pr, por ejemplo en términos de estados y sus propensiones. Pasemos, entonces, a tratar este problema.

También, en ocasiones, se utiliza "evento', un calco del inglés '*event*'. [N. del T.]

4.2. Espacio de estados probabilísticos

En algunos casos es posible asignar probabilidades definidas a los estados de una cosa y probabilidades condicionales definidas a algunos pares de estados de la misma. Como vimos en la subsección previa, a fin de asignar probabilidades a los estados resulta práctico interpretarlos como conjuntos. La manera menos costosa de hacerlo es tomar el conjunto de todos los subconjuntos del conjunto $S(X)$ de estados de la cosa X, vale decir, el conjunto potencia $2^{S(X)}$, como el espacio de probabilidades. De esta manera podemos construir la

DEFINICIÓN 4.11 Sea X una cosa y $S(X)$ un espacio de estados para X. Luego, la estructura $\langle 2^{S(X)}, Pr\rangle$ es un *espacio de estados probabilísticos* para la cosa X sii

(i) $S(X)$ es numerable y

(ii) Pr: $2^{S(X)} \to [0, 1]$ es una medida de probabilidad definida para cada conjunto de estados y que satisface, en particular, la condición: $Pr[S(X)] = 1$.

Advertencia: los estados de un espacio de estados probabilísticos no están ordenados naturalmente según su probabilidad creciente, ya que bien podría ocurrir que estados diferentes (por ejemplo, sucesivos) tuvieran la misma probabilidad. Por consiguiente, según la mecánica estadística, la evolución de un sistema cerrado sigue, en general (o sea, con sólo una cantidad numerable de excepciones) la línea de comunidad creciente: véase la Figura 4.3. Pero el hecho de que pueda haber disminuciones en los valores de probabilidad nos impide identificar los estados anteriores con estados improbables. En otras palabras, la dirección del proceso no está dada de modo inequívoco por la dirección de probabilidades crecientes.

Si todos los estados de una cosa son igualmente probables, puede decirse que la cosa es *homogénea respecto de sus estados*. Y puesto que no hay estados preferidos, una vez que la cosa ha adquirido un estado dado permanece en él, vale decir, no cambia más. Pero esto es, desde luego, una ficción. Las cosas reales son *heterogéneas respecto de sus estados*, en el sentido de que algunos de sus estados son indudablemente más probables que otros. En otras palabras, una cosa heterogénea respecto de sus estados es una cosa con estados que se desvían del valor de homogeneidad o equilibrio p_0. (Para una cosa con un número finito N de estados equiprobables,

$p_0 = 1/N$). Esto sugiere la adopción del número $h(s) = Pr(s) - p_0$ o del cuadrado de éste como medida del desvío o distinción del estado s. Para toda la colección $S(X)$ de estados de una cosa X, adoptaremos la

DEFINICIÓN 4.12 La *heterogeneidad de estados* de una cosa con espacio de estados S es igual a

$$H(S) = \sum_{s \in S} h^2(s), \quad \text{con} \quad h(\text{s}) = Pr(s) - p_0,$$

donde p_0 corresponde a la homogeneidad de estados máxima (e ideal).

La Figura 4.4 muestra tres valores típicos de heterogeneidad. Se advertirá que todo valor de heterogeneidad de estados dado se puede realizar de maneras diversas.

Las siguientes consecuencias se siguen fácilmente a causa de la normalización de la probabilidad total a la unidad:

(i) La heterogeneidad de estados de una cosa con N estados es

$$H(S) = \sum_i p_i^2 - 1/N, \quad \text{con} \quad p_i = Pr(s_\text{i}) \quad \text{y} \quad s_i \in S.$$

(ii) A medida que el número total de estados de una cosa se acerca al infinito, la heterogeneidad de estados se acerca a la probabilidad promedio:

$$\lim_{\text{N} \to \infty} H(S) = \sum_i p_i^2 = \bar{p}.$$

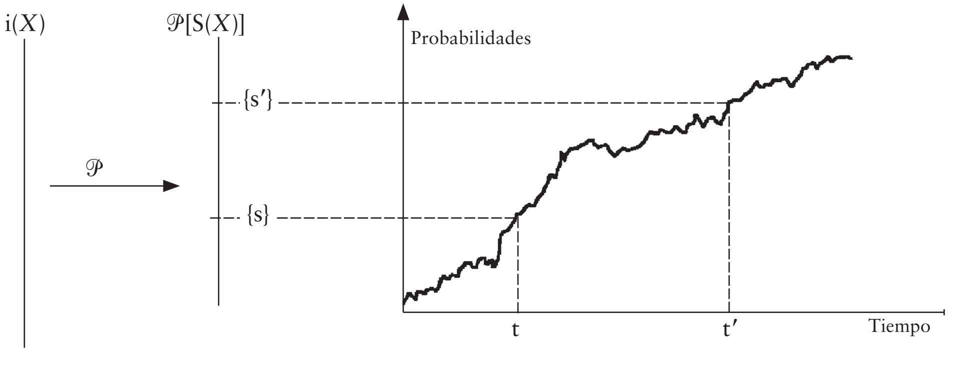


Figura 4.3. Las probabilidades termodinámicas de los estados de un sistema mecánico estadístico: en general, los estados posteriores tienen probabilidades mayores, pero sólo en general, es decir, como tendencia.

La última cantidad se considera, en ocasiones, una medida conveniente del grado de organización de una cosa. Esta interpretación no parece adecuada a la luz de la Definición 4.12. Si hemos de decir algo, es que *H(S)* mide el grado de mutabilidad o movilidad de una cosa, siempre que *S* sea un espacio de estados probabilísticos para la cosa.

La última noción que dilucidaremos en esta subsección es la de integración de cosas. Sean X y X' dos cosas diferentes que se unen para formar una tercera cosa $X \dotplus X'$. Si la combinación es del tipo aglomeración, los espacios de estados individuales no se modifican y el espacio de estados total es la unión de los espacios de estados parciales. Y la probabilidad de que los componentes de la cosa estén en estados s y s' respectivamente es el producto de las probabilidades de s y s', vale decir, $Pr(s, s') = Pr(s) \cdot Pr(s')$. Estas probabilidades cambian si los dos componentes interaccionan en el proceso de unión. Y cuanto más intensa es la interacción o correlación, mayor será la desviación de $Pr(s, s')$ del valor de independencia o no interacción $Pr(s) \cdot Pr(s')$.

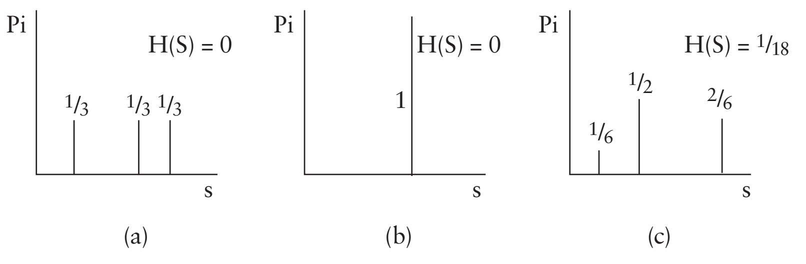


Figura 4.4. Homogeneidad (casos *a* y *b*) y heterogeneidad *(c)* de estados.

Entonces, podemos elegir esa desviación o $Pr(s, s') - Pr(s) \cdot Pr(s')$, como medida de la interacción entre las cosas en estados s y s' respectivamente. La suma de los valores absolutos o de los cuadrados de esas diferencias, para todos los estados, parece constituir una medida adecuada del grado de integración de un sistema:

DEFINICIÓN 4.13 Sean X y X' dos cosas con espacios de estados probabilísticos $\langle 2^{s(x)}, Pr\rangle$ y $\langle 2^{s(x')}, Pr\rangle$ respectivamente, y sea $X \dotplus X'$ la cosa compuesta por X y X'. Luego, el *grado de integración* de $X \dotplus X'$ (o *intensidad de la interacción* entre X y X') es

$$K(X, X') = \sum_{s \in S(X)} \sum_{s' \in S(X')} \left[\frac{Pr(s, s') - Pr(s) \cdot Pr(s')}{Pr(s) \cdot Pr(s')} \right]^2$$

siempre que esta doble suma converja.

Obviamente, la definición anterior no puede generalizarse a un sistema cuyos componentes no tienen espacio de estados probabilísticos.

4.3. La interpretación propensivista

Existen varias interpretaciones de la probabilidad. Los principales competidores son la interpretación subjetivista (personalista o bayesiana) y la interpretación objetivista, de la cual hay por lo menos dos variantes: la empírica y la fáctica. El árbol que sigue resume estas concepciones:

- Interpretaciones de la probabilidad
  - Subjetiva (intensidad de la creencia)
  - Objetiva
    - Empírica (frecuencia relativa de observación)
    - Fáctica (propensión de estados o sucesos)

Según la escuela subjetivista, los valores de probabilidad no son propiedades individuales objetivas de estados de cosas o sucesos de las cosas, sino más bien grados de convicción acerca de nuestra información. Claramente, esta interpretación no es la que se da en las teorías científicas, tales como la mecánica cuántica o la genética, las cuales no se ocupan de nuestras creencias, mucho menos sobre nuestras creencias acerca de nuestras creencias. La ciencia y, por consiguiente, la ontología científica también, emplean una interpretación objetiva de la probabilidad. Hay dos variantes principales de esta interpretación: la frecuentista y la propensivista. Según la primera, los valores de probabilidad son límites de frecuencias observadas: se trata de propiedades de los conjuntos de datos en lugar de propiedades pertenecientes a los referentes de esos datos. Se ha probado de manera repetida que esta concepción es insostenible desde el punto de vista matemático, aunque sólo fuera porque las frecuencias fluctúan de manera errática alrededor de valores de probabilidad estables. En términos estrictos, no hay una interpretación frecuentista coherente de la probabilidad: sólo hay estimaciones frecuentistas de valores probabilidad (Bunge, 1973b, 1976a). Nos queda, por ende, la interpretación estrictamente objetiva o fáctica.

Recordemos de la Sección 4.1 que el cálculo de probabilidades posee dos nociones específicas indefinidas: la de espacio de probabilidades F y la medida Pr. Recuérdese también del Capítulo 6 del Volumen 2 que la interpretación total de un formalismo matemático supone la interpretación de todos sus primitivos. Ahora bien, una *interpretación fáctica de la teoría de probabilidades* consiste en asignar significados fácticos a F y a todo valor $Pr(x)$, para todo $x \in F$. Una interpretación posible de este tipo consiste en considerar el conjunto básico S, a partir del cual fabricamos F, como un puñado de estados y $Pr(x)$ como la intensidad de la propensión de la cosa a estar en el estado (o los estados) x. De forma semejante, si x e y son estados (o conjuntos de estados) de una cosa, la probabilidad condicional de y dado x, vale decir, $Pr(y|x)$, se interpreta como la intensidad de la propensión o tendencia de la cosa de pasar del estado (o los estados) x al estado (o los estados) y.

Dada la estructura de la función de probabilidad y la interpretación de su dominio F como un conjunto de hechos, la interpretación propensivista es la única posible. En efecto, si $x \in F$, luego $Pr(x)$ no puede ser sino una propiedad del hecho individual x. O sea, contrariamente a la concepción frecuentista, la probabilidad no es una propiedad colectiva o del conjunto, vale decir, una propiedad de F en su totalidad, sino una propiedad de cada hecho individual: su propensión a ocurrir. (En consecuencia, la expresión «interpretación propensivista de casos singulares», utilizada por Giere, 1974, es redundante). Las que *sí son* propiedades del conjunto son las funciones derivadas, tales como los momentos de una distribución de probabilidades (en particular, sus promedios), su desviación estándar si la posee y así sucesivamente. Esta reflexión basta para dar en tierra con la escuela frecuentista, según la cual la probabilidad es una propiedad colectiva o del conjunto.

En cuanto a la interpretación subjetivista (personalista o bayesiana), es insostenible incluso si se supone que el dominio F de Pr es una colección de hechos mentales. La razón de ello es que en la expresión '$Pr(x) = y$' no hay lugar para una variable que denote la persona que cree que el número y mide la intensidad de su creencia en x. El personalista no sólo debe interpretar *F* en términos subjetivos: también tiene que tener una variable que represente su actitud hacia sus propios hechos mentales *F*. Si esta variable es el valor de probabilidad genérico *y*, entonces se trata del mismo para todas las personas, en cuyo caso no hay razón para una interpretación subjetivista. Y si es una variable diferente, entonces no aparece en la teoría de la probabilidad, sino en alguna teoría psicológica que trata de la incertidumbre como estado mental. El que personas diferentes puedan inventarse distintas estimaciones (o adivinaciones) de la probabilidad de un mismo hecho es algo obvio, pero no sanciona la interpretación subjetivista más de lo que la incertidumbre acerca de valores de carga eléctrica justificaría una electrostática subjetivista.

Volviendo a la interpretación propensivista, se la debe distinguir de la dilucidación o exactificación de la probabilidad de la noción presistemática de propensión, tendencia o capacidad. En el primer caso, se asignan ítems fácticos a un concepto, en tanto que en el segundo se dota a un concepto fáctico de una estructura matemática precisa. (Cf. Volumen 2, Capítulo 6, Sección 3.8). En la ciencia y en la ontología necesitamos tanto la interpretación fáctica como la dilucidación matemática. Adviértase también que una interpretación de la probabilidad es incompleta a menos que relacione los dos primitivos de la teoría, es decir, *F* y *Pr*. En consecuencia, las interpretaciones fácticas de Poincaré, Smoluchowski, Fréchet y otros son incompletas por limitarse a suponer que un valor de probabilidad es una «constante física adjunta a un suceso *E* y a una categoría *C* de ensayos» (Fréchet, 1939). Esto es como decir que *e* es una constante física sin añadir que da la casualidad que *e* es la carga eléctrica del electrón. La interpretación propensivista no es pasible de esta acusación de incompletitud, ya que afirma de manera explícita que $Pr(x)$, para $x \in F$, es la propensión o tendencia de ocurrir de x.

Resulta instructivo comparar las interpretaciones propensivista y actualista (o frecuentista) de los valores de probabilidad, suponiendo que ambas coinciden en cuanto a la naturaleza del conjunto soporte *F*. (Esta suposición es una ficción: no sólo un frecuentista como Von Mises, sino también Popper, el paladín de la interpretación propensivista, han enfatizado que los hechos no tienen probabilidades a menos que tengan lugar en situaciones controladas experimentalmente). Este contraste se exhibe en la Tabla 4.3.

Adviértanse los siguientes puntos. Primero, si bien un valor de probabilidad es significativo –vale decir, es razonable hablar de la propensión de un solo hecho–, lo es únicamente en relación con un espacio de probabilidades definido *F*. Asimismo, un valor de frecuencia tiene sentido sólo en relación con un par muestra-población definido. Por ejemplo, la fórmula «*x* es poco frecuente» presupone cierto conjunto de ocurrencias, al que pertenece *x* y en el que resulta que *x* es infrecuente.

Tabla 4.3 Interpretación potencialista vs. interpretación actualista de la probabilidad

$p = Pr(x)$	Propensión	Frecuencia
0	*x* tiene una propensión (casi) nula	*x* no es (casi) nunca el caso
$0 < p \ll 1$	*x* tiene una propensión débil	*x* es poco frecuente
$0 \ll p < 1$	*x* tiene una propensión bastante intensa	*x* es bastante común
$p \doteq 1$	*x* tiene una propensión intensa	*x* es muy común
$p = 1$	*x* tiene una propensión muy intensa	*x* es (casi) siempre el caso

Segundo, en el caso de las distribuciones continuas, la probabilidad nula es congruente con sucesos muy infrecuentes: vale decir, aun cuando $Pr(\mathrm{x}) = 0$, *x* puede suceder, aunque rara vez en comparación con otros sucesos representados en el espacio de probabilidades. (Todas las revoluciones y todos los emergentes –por ende, los sucesos más importantes– poseen probabilidades bajas, tal vez tendientes a cero). Por consiguiente, un hecho con probabilidad 1 puede no ocurrir. (Recuérdese que los racionales tienen medida de Lebesgue nula. Por esta misma razón en la mecánica estadística se asigna probabilidad nula a conjuntos enteros de estados y sucesos, aun cuando el sistema de interés pasará con seguridad por ellos. Esto es lo que se considera que significa 'casi nunca' en ese contexto, vale decir, que los estados o sucesos en cuestión sólo se presentan una cantidad numerable de veces).

Tercero, la columna frecuentista debe mantenerse junto con la columna propensivista, aunque en un papel diferente del de interpretación o definición. En efecto, si bien no nos dice qué *significa* «$Pr(x) = y$» sí nos dice en qué condiciones es *verdadera* esta fórmula. La frecuencia a largo plazo es, en resumen, una *condición de verdad* de los enunciados de probabilidad. (Para el problema de si las condiciones de verdad determinan significados, véase el Capítulo 8 del Volumen 2).

Cuarto, adviértase nuevamente que nuestra interpretación difiere de la de Popper en que esta última requiere que el sistema de interés esté acoplado a un equipo experimental. En nuestra versión de la interpretación propensivista no queda vestigio alguno de la interpretación frecuentista o empirista. Ni exigimos que sólo se asigne probabilidades a los sucesos (es decir, los cambios de estado), tal como están obligados a hacer los empiristas (puesto que los estados pueden ser inobservables): también se puede asignar probabilidades a los estados y, de hecho, se les asignan probabilidades en numerosas teorías estocásticas, por ejemplo en la mecánica estadística y la mecánica cuántica. (La medida de entropía de la mecánica estadística es una función de la probabilidad de un estado o, como lo expresó Planck, mide la preferencia [*Vorliebe*] de ciertos estados sobre otros). En otras palabras, no sólo las probabilidades de transición sino también las probabilidades absolutas pueden ser fácticamente significativas. El requisito de que en física sólo se han de admitir probabilidades de transición (Strauss, 1970) es insostenible por las siguientes razones. Primero, puesto que una probabilidad de transición es una probabilidad condicional y éstas se definen en términos de una probabilidad absoluta –no a la inversa–, la primera no puede tener un significado fáctico a menos que lo tenga la segunda. Segundo, una nube de electrones (o distribución de posición para un electrón) posee un estatus físico definido, y tanto es así que con frecuencia se lo puede objetivar mediante los rayos X.

Y hasta aquí llegamos con la interpretación propensivista de la probabilidad. En la sección que sigue veremos que las propensiones de este tipo, a diferencia de las causales, deben considerarse propiedades primarias (irreducibles) de ciertos tipos de cosas.

5. La propensión aleatoria

5.1. Potencialidades irreducibles

La física clásica asigna a toda partícula puntual una posición definida en cada instante. En cambio, una «partícula» cuántica posee, en cada instante, una distribución de posición definida, es decir, todo un rango de posiciones posibles, cada una con un peso dado o probabilidad dada: véase la Figura 4.5. Lo mismo sucede con otras propiedades cuánticas, tales como los momentos lineal y angular, el espín y la energía: salvo casos excepcionales, cada «partícula» posee todo un grupo (intervalo) de valores de cada una de estas propiedades. (Las excepciones están constituidas por los estados de «partícula» que, sucede, son autovalores de la propiedad correspondiente. Por ejemplo, una cosa en un autoestado de energía posee un valor de energía preciso, no toda una distribución de valores de energía. Pero esos estados, vale decir, los estados estacionarios, son privilegiados).

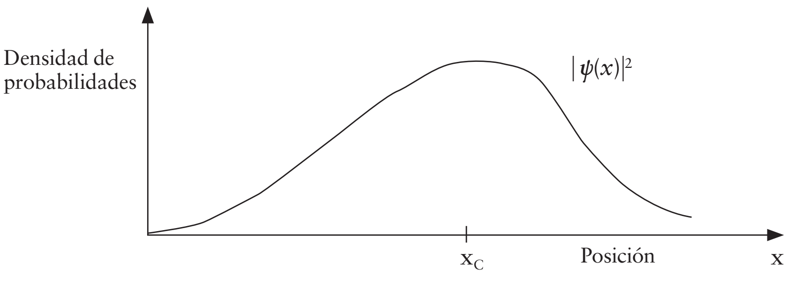


Figura 4.5. El valor de posición clásico x_C y la distribución de posición cuántica $\rho = |\psi(x)|^2$ de una «partícula» en un instante dado. El promedio ponderado de x, vale decir, $\langle x \rangle_{AV}$, coincide con x_C en el límite no relativista.

Una manera alternativa de describir este contraste entre las propiedades clásicas y cuánticas es la siguiente. Allí donde la física clásica ofrece una variable dinámica no estocástica Qc, la física cuántica introduce una distribución $\psi^* Q \psi$ (un «observable local»), en la que Q es un operador que actúa sobre la función de estado ψ, una función dependiente del lugar y el momento que determina la densidad de probabilidades de posición. (Se puede suponer que estas densidades o formas bilineales representan las variables dinámicas básicas de una cosa, en tanto que los operadores Q son símbolos sincategoremáticos útiles para la construcción de las distribuciones $\psi^* Q \psi$). Cada una de estas variables aleatorias («observables locales») es una propiedad de una cosa individual, no una propiedad colectiva de todo un grupo de cosas semejantes.

Desde el punto de vista clásico, esa situación es inadmisible. En consecuencia, el clasicista interpretará, a menudo, que ψ representa el estado de un conjunto estadístico en lugar de una propiedad de una cosa individual. (Ésta es, de hecho, la interpretación que favorecían Einstein y Blokhinzev). Sin embargo, la teoría no admite esta interpretación de una expresión tal como "$\psi^* x\psi$": puesto que contiene una única variable de posición x, no se la puede forzar a representar todo un agregado de partículas. En la medida que aceptemos la mecánica cuántica, debemos reconciliarnos con sus características no clásicas, tales como que, para cada microcosa, la posición es una variable aleatoria con diversos valores posibles, cada uno con su propia probabilidad. Únicamente el promedio de esa distribución es un punto preciso y coincide con el valor clásico. En otras palabras, la física clásica ofrece solamente una descripción global o superficial de las microentidades, al ignorar el hecho de que las propiedades dinámicas de éstas son variables aleatorias esparcidas por todo el espacio que les es accesible. (Véase Bunge, 1977c).

Se debe hacer hincapié en que las $\psi^*Q\psi$ no sólo indican estados y sucesos posibles: representan propiedades que una microcosa posee todo el tiempo. Vale decir, la $\psi^*Q\psi$ representa propiedades *manifiestas* (aunque no directamente observables) en lugar de propiedades latentes. En cambio, un valor preciso de Q, tal como cualquiera de los autovalores de Q, es una propiedad disposicional de la cosa de interés. En otras palabras, una cosa con una Q-distribución $\psi^*Q\psi$ posee la *propensión* a adquirir tal o cual (auto)valor Q preciso. Por ejemplo, un fotón que viaja en el vacío no está concentrado en un punto, sino que cuando choca con un electrón atómico puede contraerse repentinamente, sólo para ser absorbido en el instante siguiente. Y, bajo la influencia de un campo externo, un electrón puede adquirir un valor de impulso lineal preciso, aunque a expensas de su posición. Aquí la distribución es primaria, en tanto que los valores precisos son excepcionales. En cambio, en la física clásica los valores precisos son básicos y las distribuciones son derivadas: son el resultado de las interacciones de numerosas entidades. (Véase la Figura 4.6). Solamente un fundamento clásico de la mecánica cuántica podría restituir la primacía del valor real preciso, pero eso sería al precio de mantener la primacía de la probabilidad. [Véase de la Peña (1969) y de la Peña & Cetto (1975)].

(a) (b)

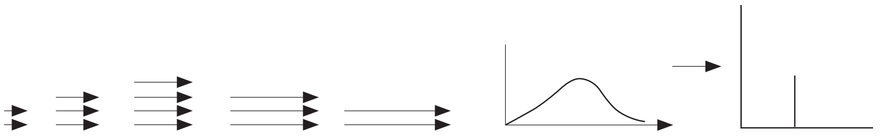


Figura 4.6. *(a)* Física clásica: de los valores de velocidad individuales precisos a las distribuciones. *(b)* Física cuántica: de las distribuciones a los valores individuales precisos.

Debemos resaltar que las propiedades estocásticas representadas por los operadores cuánticos Q (o sus respectivas densidades $\psi^* Q \psi$) son, comúnmente, propiedades intrínsecas, no propiedades de la cosa en interacción con un dispositivo experimental. En efecto, los Q están definidos como variables dinámicas de la microcosa de interés, independientemente de sus circunstancias: el equipamiento, si lo hay, tiene sus propias variables dinámicas que se distinguen de las primeras por un índice y sólo actúan sobre la parte de la función de estado que se refiere al equipamiento. El formalismo matemático no sanciona la pretendida ubicuidad del equipamiento (Bunge, 1967b y 1973b). Además, tal como ha resaltado Mellor (1971), no tiene sentido hablar de disposiciones si luego se las adscribe a todo el «dispositivo aleatorio» o «situación experimental» en lugar de a la cosa de interés, ya que la producción de una situación dada es una oportunidad para que la disposición se exhiba y no debe confundirse con la propia disposición. [Para una discusión excelente y minuciosa de este asunto, véase Settle (1974)].

5.2. Análisis

Se recordará de la Sección 3 que una disposición causal o propensión es una potencia que se actualiza en circunstancias adecuadas. El entorno ofrece o excluye oportunidades de actualización y es necesario y suficiente para esta actualización. En el caso de las propensiones aleatorias, las posibilidades están todas en la propia cosa y el entorno escoge. Además, éste puede ser inexistente, en el sentido de que la presencia de una propiedad real puede ser espontánea o no causada, como en el caso de la radiactividad natural. En otras palabras, mientras que en el caso de las disposiciones causales la actualización requiere que la cosa de interés se una a otra entidad real, en el caso de la propensión aleatoria puede suceder que la cosa se una a la cosa nula, la cual es un artificio introducido para obtener uniformidad. Más precisamente, estableceremos la

DEFINICIÓN 4.14 Sea $z = x \dotplus y$ una cosa compuesta por diferentes cosas x e y, donde y es posiblemente la cosa nula. Además, sea Q una propiedad de x. Luego, se dice que Q es una *propensión aleatoria* de x sii

(i) Q puede representarse de manera no trivial mediante una variable aleatoria o una distribución de probabilidades, de suerte que cada valor (o intervalo) q de Q posea una probabilidad definida p;

(ii) y posee una propiedad R tal que, cuando x se une a y para formar $z = x \dotplus y$, la probabilidad de que x adquiera la propiedad individual q (un valor de Q) es igual a p. [O sea, $Pr(Q = q|R) = p$].

Ejemplo 1 x = electrón, y = sistema de difracción, Q = distribución de posiciones de x, R = dejar pasar el electrón a través de una hendidura. *Ejemplo 2* x = persona, y = entorno de aprendizaje, Q = capacidad de aprendizaje, R = permitir que la persona aprenda.

Por último, convendremos la

DEFINICIÓN 4.15 La *potencialidad aleatoria* de una cosa x es la colección de sus propensiones aleatorias:

$$\Pi_x(x) = \{P \in p(x) | P \text{ es una propensión aleatoria}\}.$$

Una cosa posee mayor potencialidad aleatoria que otra en el preciso caso de que la potencialidad aleatoria de la primera incluya la de la segunda. Por ejemplo, un átomo posee mayor potencialidad aleatoria que cualquiera de sus componentes; asimismo, una comunidad tiene mayor potencialidad aleatoria que cualquiera de sus miembros. Finalmente, la *potencialidad* de una cosa es igual a la unión de su potencialidad causal y su potencialidad aleatoria:

$$\Pi(x) = \Pi_c(x) \cup \Pi_x(x).$$

5.3. Resultado

En este capítulo hemos introducido una tricotomía en el conjunto $p(x)$ de propiedades de una cosa cualquiera x. En efecto, hemos supuesto que $p(x)$ se divide en tres subconjuntos disjuntos; los de

(i) *propiedades manifiesta*s, vale decir, las que la cosa posee en todas las circunstancias mientras la cosa existe y permanece en la misma clase natural, por ejemplo la carga eléctrica de un electrón y la actividad de síntesis de proteínas de un organismo;

(ii) *disposiciones causales* o propensiones a adquirir ciertas propiedades manifiestas en ciertas circunstancias, por ejemplo la reactividad química de un átomo y la capacidad de una hembra de mamífero de quedar preñada;

(iii) *propensiones aleatorias* o disposiciones a adquirir, con probabilidad, ciertas propiedades manifiestas, con dependencia de las circunstancias o sin ella.

Además, hemos trazado una distinción radical entre las propensiones causales y aleatorias, dos categorías que habitualmente se confunden. Para comenzar, las propensiones aleatorias no son disposiciones comunes o causales tales como la fragilidad, ya que nada tienen de necesario. De hecho, una distribución puede colapsar en un número cualquiera de valores y cada transición posible tiene una probabilidad precisa. (A la inversa, una propiedad precisa puede acabar tornándose difusa). Segundo, a menudo las propensiones aleatorias son básicas, tal como lo prueban la física cuántica y la genética. Pero no siempre: véase la Tabla 4.4. No es verdad que toda propiedad manifiesta esté arraigada en una propiedad aleatoria, como quiere el posibilismo extremo. Tampoco lo es que toda disposición y toda propensión aleatoria estén arraigadas en una propiedad manifiesta, como sostiene el actualismo. Ambos tipos de reduccionismo van a contracorriente de la ciencia.

La posibilidad real es objetiva o absoluta en sentido gnoseológico: porque es independiente del sujeto cognoscente. Pero no es absoluta en otros sentidos. Las potencias, sean causales (como la viabilidad de una semilla) o estocásticas (como la capacidad de aprender un ítem en una primera presentación) se actualizan en ciertas circunstancias y se frustran en otras diferentes. Además, las propias posibilidades dependen de las circunstancias tanto como de la cosa de interés. Así pues, un campesino que migra a una ciudad adquiere ciertas posibilidades laborales y educativas que previamente le estaban vedadas y pierde, en cambio, diversas características, tales como la integración en una comunidad. Por consiguiente, en lugar de ser interpretada como un operador monádico, la posibilidad debe interpretarse como uno diádico: el hecho *x* es posible (o imposible) en las circunstancias (estado del entorno) *y*. Aunque sólo fuera por esta razón, la lógica modal está imposibilitada de tratar la posibilidad real, en tanto que la relatividad de la posibilidad está incorporada a la noción de probabilidad condicional. Pero la lógica modal se merece una subsección aparte.

Tabla 4.4
Ejemplos de propiedad real o manifiesta, disposición causal y propensión aleatoria. Las flechas indican precedencia de propiedades.

Propiedad manifiesta	Disposición causal	Propensión aleatoria
Carga eléctrica →	→	→ Capacidad ionizante
Valor de posición preciso ←	←	← Distribución de posiciones
Masa del cuerpo →	Peso del cuerpo en un campo gravitatorio	
Exhibición o actuación de una capacidad heredable ←	Posesión de una capacidad innata ←	Adquisición de una capacidad heredable mediante el barajado aleatorio de genes.

6. Marginalia

6.1. La lógica modal y la posibilidad real

La lógica modal se desarrolló con la finalidad de dilucidar tanto el concepto lógico de posibilidad como su correlato ontológico (véase, por ejemplo, Lewis & Langford, 1932). Por esta razón, con frecuencia se la ha considerado un prerrequisito de la lógica así como de la metafísica (véase, por ejemplo, Marcus, 1968). Puesto que en la Sección 1 ya hemos descartado la primera pretensión, ocupémonos ahora de la segunda.

Una de las defensas más vigorosas y conocidas de la tesis según la cual la lógica modal dilucida el concepto de posibilidad real es la de

Montague (1960, 1974). Este autor afirma que los principios de cierto cálculo modal son válidos respecto de la interpretación de '$\Box$' como «es físicamente necesario que», lo cual a su vez se define como sigue: «ϕ es físicamente necesario si ϕ es deducible de cierta clase de leyes físicas especificadas de antemano». En otras palabras, Montague identifica la necesidad con la legalidad (teórica) y desestima las circunstancias. (Además, atribuye necesidad física a las fórmulas, no a sus referentes, con lo cual confunde la necesidad física con la necesidad lógica). Pero, como vimos en la Sección 2.4, los enunciados legales, sean estocásticos o no, sólo especifican posibilidades: son tan universales que se refieren a todos los hechos posibles de un tipo, en lugar de solamente a los necesarios. En otras palabras, un hecho realmente posible es un hecho al cual se refiere un enunciado legal. La necesidad no se puede especificar sin la ayuda de la noción de circunstancia, la cual no está incorporada en la de ley. Piénsese en el caso más simple de una ecuación de movimiento: las trayectorias reales (necesarias) no se pueden determinar a menos que a las soluciones se les adjunten las condiciones iniciales.

Además, ninguno de los sistemas de lógica modal es un cálculo de posibilidades reales, por la sencilla razón de que se ocupan de proposiciones, no de hechos. Por esta mismísima razón el lógico modal se ve obligado a convertir «Tal vez llueva» en «Es posible que la proposición ⌜Tal vez llueva⌝ sea verdadera» o en «⌜Tal vez llueva⌝ es verdadera en ciertas circunstancias concebibles». Vale decir, reemplaza la posibilidad de la realidad por enunciados acerca de la realidad –que son mucho más dóciles–, con lo cual oculta la posibilidad real bajo la alfombra de la posibilidad conceptual y la verdad. Lo mismo hace, desde luego, con respecto a la necesidad. (Peor: no dispone de una noción de verdad independiente de la de satisfacibilidad en un mundo posible, el cual identifica con un modelo. Y nada sabe de la existencia de la verdad fáctica y parcial como algo diferente de la verdad lógica y total).

En ciencia y en ontología, la noción de posibilidad absoluta (incondicional), así como el principio modal $\ulcorner p \Rightarrow \Diamond p \urcorner$ no nos son de utilidad. Lo que sí sería importante es una tesis completamente diferente: «Todo lo que ahora es el caso fue posible en un instante anterior». Pero este enunciado incluye el concepto de tiempo, que todavía no está disponible para nosotros y que, en todo caso, es ajeno a la lógica modal. Por último, $\ulcorner \Diamond p \urcorner$ es ontológicamente indistinguible de $\ulcorner \Diamond \neg p \urcorner$. Por consiguiente, intuitivamente, «Tal vez ese azulejo se caiga» tiene el mismo significado que «Tal vez ese azulejo no se caiga», pero esto no es así en la lógica modal. Las versiones probabilísticas de estos enunciados también tienen el mismo significado: «La probabilidad de que ese azulejo se caiga es de $1/2$» significa lo mismo que «La probabilidad de que ese azulejo no se caiga es de $1/2$» porque estos enunciados son interdeducibles. La lógica modal ignora todo esto. Por eso nosotros podemos ignorar a la lógica modal.

La mayoría de los lógicos matemáticos ignora la lógica modal porque no la necesitan. Y a algunos de ellos, en particular a Quine, la lógica modal les disgusta por las razones equivocadas: porque desconfían de la noción misma de posibilidad. Mi propia valoración de la lógica modal tiene una razón diferente: creo que se trata de un juego fútil, porque no da lo que promete, a saber, una clarificación de las nociones de posibilidad conceptual y posibilidad real que, para empeorar las cosas, confunde entre sí. No es que estas nociones sean poco importantes; todo lo contrario, son demasiado importantes para dejarlas en manos de una teoría tan pobre como la lógica modal. En particular, la noción de posibilidad real está por todos lados en la ciencia, la cual se las arregla para tratar con ella sin el auxilio (o, mejor dicho, el obstáculo) de la lógica modal. De hecho, toda teoría científica se refiere a hechos posibles: sus propios referentes son cosas posibles en estados posibles y cada estado de estos puede representarse mediante un punto (o una región) del espacio de estados de la cosa. (Para toparse con los reales, que la teoría trata como meros casos especiales de los posibles, es necesario recurrir a la observación, la medición o el experimento). Pero la ciencia, tal como hemos visto, trata los posibles de una manera que difiere de la lógica modal. Una razón de ello es que en la ciencia un hecho posible es compatible con las leyes, restricciones y circunstancias (por ejemplo, condiciones iniciales y de contorno). Si las circunstancias están dadas, el hecho se actualiza o bien se eleva su probabilidad de actualización. En ambos casos la noción de posibilidad se entiende de una forma ajena a la lógica modal. En otras palabras, los posibles de la ciencia son sólo miembros de un conjunto, por ejemplo del conjunto de estados nomológicamente posibles. En consecuencia, se los trata de un modo totalmente verifuncional, sin el auxilio de la lógica modal. (Véase la Figura 4.7).

Lo que vale para la lógica modal tradicional, vale también para la interpretación de la modalidad propia de la teoría de modelos (Kripke, 1959; Cresswell, 1973). Según esta concepción, la posibilidad es satisfacibilidad (en un modelo), por lo que la necesidad es la satisfacibilidad en todo modelo. Hemos admitido que esta idea proporciona una dilucidación de *una* de las cuatro nociones de posibilidad *conceptual* (Sección 1.2). Pero el predicado «es satisfacible» se refiere a fórmulas abstractas o semiabstractas (o sea, fórmulas que no están completamente interpretadas), no a hechos. En consecuencia, la concepción contemporánea de la modalidad es tan impertinente para la ontología como lo era la interpretación de Leibniz de la posibilidad como verdad en un mundo posible.

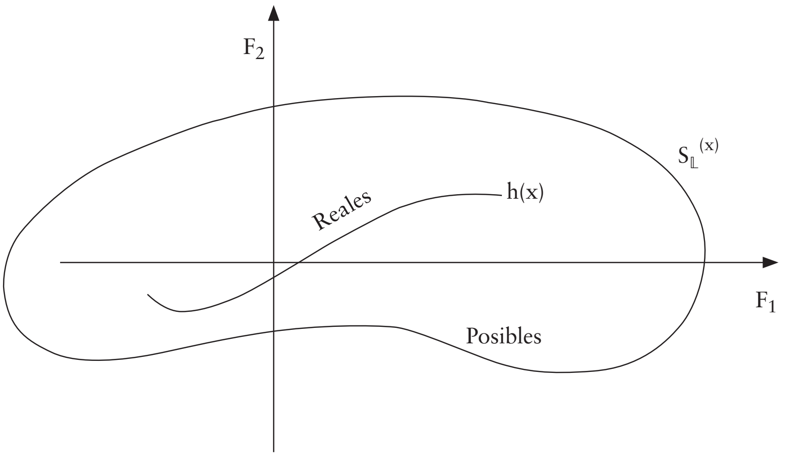


Figura 4.7. Posibilidad y realidad en la ciencia y en la ontología. Un punto arbitrario del espacio de estados nomológico $S_{\mathbb{L}}(x)$ de una cosa x representa un estado posible de x. La historia $h(x)$ de x representa la secuencia de estados reales de x. Aquí no interviene en absoluto la lógica modal.

La noción relacionada de conjunto modelo no funciona mejor en relación con la ontología. De hecho, recordemos su definición (Hintikka, 1969, p. 72): «se puede considerar que un conjunto modelo [vale decir, un conjunto de fórmulas que son totalmente verdaderas en una interpretación de las constantes extralógicas que aparecen en ellas] es una descripción parcial de un estado de cosas posible o un curso de acontecimientos posible ("mundo posible")». Una vez más, aquí se trata de fórmulas abstractas o semiabstractas, no de enunciados legales fácticos, y mucho menos de circunstancias fácticas.

En resumen, ni las modalidades ni los modelos de modalidades dilucidan la noción de posibilidad real. Si lo hicieran, el idealismo subjetivo sería verdadero y la ciencia redundante: preguntaríamos al filósofo en lugar de al biólogo si los gorriones pueden transformarse en narcisos. Como conclusión, la lógica modal no dilucida los conceptos de posibilidad real –especialmente los de disposición causal y propensión aleatoria–, por lo que resulta tan inútil en la ontología como en la semántica. No obstante, la lógica modal ha suscitado una nueva metafísica o, mejor dicho, una metafísica ficción, que pasaremos a examinar a continuación.

6.2. La metafísica de los mundos posibles

Si se entiende la posibilidad real como legalidad (Sección 2.3) la pregunta «¿Cuáles son los mundos posibles?» se convierte en «¿Cuáles son las leyes reales?». Ahora bien, la respuesta a esta pregunta es, por supuesto: «Las leyes reales son las inherentes al mundo real». Por lo tanto, la solución al problema original es: «El conjunto de los mundos realmente posibles es un conjunto de un único elemento formado por el mundo real». En consecuencia, el nuestro es el mejor de los mundos posibles (como afirmaban creer Leibniz y Wolff), no el peor de ellos (como quieren las tradiciones judía y cristiana). El nuestro es el único mundo (nomológica, realmente) posible. Todo universo alternativo al nuestro es imaginario y pertenece a la ficción acientífica, por ejemplo a la mitología. Todos los mundos (lógicamente) posibles, salvo uno, son (realmente) imposibles.

A los filósofos con poca inclinación por el mundo real les gusta permitirse soñar despiertos sobre mundos conceptualmente posibles. Estos ofrecen un acogedor refugio y no tienen las groseras maneras del mundo real (en particular, el hábito de refutar las conjeturas acerca de las posibilidades reales). Un rápido vistazo a tres problemas típicos de los que tratan estas especulaciones nos bastará.

El primer problema que afronta todo sistema de metafísica de los mundos posibles es, por supuesto, el de definir el concepto mismo de mundo posible. Esta tarea ha sido realizada con elegancia por Cocchiarella (1974), quien ha refinado, con ayuda de herramientas formales contemporáneas, algunas de las intuiciones de C. I. Lewis (1923). Un mundo posible se define como cierto conjunto de proposiciones; ni de cosas, ni de hechos. Pero se trata, desde luego, de un mundo posible de tipo conceptual (Sección 1), un mundo que se rige por las leyes de la lógica, no por las de la ciencia fáctica. En consecuencia, no es del interés de nuestra ontología, la cual se ocupa del concepto general de posibilidad real y de la cuestión: ¿Qué hace que ciertos ítems fácticos sean posibles y otros imposibles?

En cuanto se supone la existencia de una pluralidad de mundos posibles, se enfrenta la pregunta de qué comparten, si es que algo comparten. En particular, suponiendo que cierto individuo pertenece a dos mundos posibles, ¿cómo haremos para identificarlo? (Éste es el problema de la identificación transmundana). Se ha diseñado una herramienta técnica especial para abordar este problema o, mejor dicho, seudoproblema, el concepto de designador rígido (Kripke, 1971). Por supuesto, este tecnicismo resulta innecesario en nuestra ontología, por la sencilla razón de que ésta se ocupa solamente del único universo real.

Por último, algunos sistemas de metafísica de los mundos posibles han sido aplicados a ciertos (mini)problemas, tales como el de los contrafácticos (David Lewis, 1973). Lewis sostiene que «existen mundos posibles diferentes de este mundo, en el cual, casualmente, vivimos» y dilucida con su ayuda la ambigua noción de contrafáctico. Éste es un caso típico de lo que los escolásticos llamaban una explicación de lo oscuro por lo más oscuro. Además, ¿quién necesita de los contrafácticos en la ciencia, salvo como accesorios heurísticos y, además, restringidos al caso en el cual el antecedente, si bien contrario a los hechos, es realmente posible? (Véase la Sección 3.4).

En términos generales, la metafísica de los mundos posibles es vulnerable a las siguientes objeciones:

(i) Emplea la lógica modal, la cual es perfectamente prescindible en todos los contextos excepto, tal vez, en el de la ética. (Si la lógica modal sería necesaria para afrontar un universo diferente del nuestro, no lo sabemos. Tal vez sería pertinente en un mundo caótico, vale decir, sin leyes; pero, de todos modos, semejante mundo sería inhabitable).

(ii) Dado que se ocupa de un concepto general de posibilidad, en lugar del de posibilidad real, la metafísica de los mundos posibles resulta indiferente para los asuntos mundanos, los cuales no está en condiciones de tratar. (Piénsese en las preguntas «¿Es posible frenar la inflación?» y «¿Es posible que una mariposa se transforme en rana?». Por consiguiente, no constituye una ontología propiamente dicha, sino únicamente un ejercicio de lógica modal de la teoría de modelos.

(iii) La metafísica de los mundos posibles no se toma en serio la posibilidad real, puesto que, en lugar de considerarla inherente al universo real, la confina a mundos imaginarios. El ontólogo científico, en cambio, ha aprendido de la física cuántica, la genética, la teoría del aprendizaje, la teoría de la movilidad social y otras, que la posibilidad es inherente a la realidad. También ha aprendido que el filósofo debe afrontar el mundo y aprender de él, en lugar de retraerse del mundo y construir sistemas escapistas.

Si, en términos filosóficos, la metafísica de los mundos posibles es tan potente como el ajedrez, también lo será la gnoseología que en ella se basa. Me refiero al sistema de lógica inductiva en el cual se asigna probabilidades a las hipótesis sobre la base de un cómputo de mundos posibles. Admitido que computar tan fantasmales objetos pueda atraer a los equivalentes modernos de quienes solían calcular el número de ángeles que podían caber en la cabeza de un alfiler, no se puede menos que formular dos antipáticas preguntas. Primera: aun suponiendo que existe un criterio razonable para semejante cómputo, ¿cómo habría que proceder para verificar el resultado? Segundo: ¿cómo se asignan probabilidades a los diversos mundos posibles?

6.3. Modalidad y probabilidad

La probabilidad exactifica la posibilidad, pero no se puede asignar probabilidades a todo lo posible. Hay posibilidades respecto de las cuales la probabilidad no tiene sentido, por la sencilla razón de que no son objeto de una teoría estocástica. Por ejemplo, es posible caracterizar las fuerzas como «tendencias de cambio de posición relativa» (Maxwell, 1892, II, pp. 211 y 215). Asimismo, la solubilidad y la permeabilidad magnética son disposiciones (causales) a las cuales la física clásica no asigna probabilidades. Encontramos casos similares incluso en la física atómica, la cual es básicamente estocástica. Por ejemplo, un átomo de hidrógeno en un nivel de energía dado ocupa un estado degenerado de orden $(2\ell + 1)$, en el sentido de que el valor de energía dado es congruente con $2\ell + 1$ posibilidades diferentes de orientación espacial. Un campo exterior que actúa sobre el átomo puede eliminar la degeneración lanzando el átomo a cualquiera de los $2\ell + 1$ estados no degenerados. Este número mide la variedad potencial del estado original (degenerado) o su potencialidad. Pero mientras no se asignen probabilidades a esos estados posibles no degenerados (o a las transiciones posibles para ellos), permanecen individualmente no cuantificados. En resumen, la posibilidad no garantiza la probabilidad, ya sea en la ciencia clásica o en la ciencia contemporánea.

Desde luego, la inversa sí es válida: *siempre que hay probabilidad hay posibilidad*. En tales casos y únicamente en ellos, «la probabilidad es la *medida cuantitativa* de la posibilidad» (Terletskii, 1971, p. 15). En otras palabras, la probabilidad proporciona una exactificación numérica de la posibilidad si y sólo si *(a)* se está tratando con la propensión aleatoria y *(b)* se tiene a disposición una teoría estocástica de los hechos de interés (Bunge, 1976a). De más está decir que una teoría probabilística o estocástica es una teoría que contiene al menos una variable aleatoria, es decir, una función a la totalidad de cuyos valores se asigna una probabilidad definida. En una teoría así, sólo se presentará un valor de probabilidad particular por vía de la postulación o del recurso a la experiencia. Por ejemplo, dada una teoría de la evolución de una probabilidad p en el transcurso del tiempo, tal como, por ejemplo, $\ulcorner dp/dt = kp \urcorner$, podemos calcular el valor de probabilidad $p(t)$ en un instante arbitrario dado, a condición de que suministremos (por medio de la suposición o de la observación) el valor inicial $p(0)$. Si se añade esta información adicional, estamos autorizados a realizar la inferencia a cualquier valor (pasado o futuro) de p, del modo que sigue: $p(t) = p(0).\ exp\ (kt)$. (Este resultado es matemáticamente necesario, pero sólo representa la posibilidad real).

En otras palabras, adoptaremos el principio de que todo lo que es probable según una teoría científica estocástica T se considera posible en T y, además, que la intensidad o peso de la posibilidad es igual a la probabilidad correspondiente. (Adviértase que las teorías científicas asignan probabilidades a los hechos, no a las proposiciones). Esta idea es perfectamente consistente con nuestro concepto nomológico de posibilidad (Sección 2.3), ya que, por definición, una teoría científica contiene enunciados legales (Bunge, 1967a, Capítulos 6 y 7). Cuando tratamos con una teoría estocástica, podemos hacer uso de un criterio de posibilidad más específico que el Criterio (general) 4.1 enunciado en la Sección 2.5, a saber, el

CRITERIO 4.2 Sea T una teoría estocástica que se refiere a un dominio F de hechos y sea E un cuerpo de datos empíricos expresados en el lenguaje de T y, además, pertinentes para T. Luego, si x pertenece a F, *x es realmente posible según* T y E sii $T \cup E$ contiene la fórmula $\ulcorner Pr(x) \geqslant 0 \urcorner$.

Nótese que no sugerimos que la probabilidad nula sea igual a la imposibilidad. La imposibilidad (relativamente a un par *T-E*) se puede interpretar como la ausencia de un valor de probabilidad. O sea, todo aquello a lo que no se asigne una probabilidad con ayuda de T y E se considerará *imposible según T y E*, aunque no necesariamente imposible según otras premisas. Y diremos que todo aquello a lo cual se asigne un valor de probabilidad 1 con ayuda de T y E *es necesario según T y E*. Además, consideraremos que dos hechos son *composibles* según T y E si la probabilidad de su ocurrencia conjunta está definida en $T \cup E$.

También podemos introducir la noción de campo de posibilidades, del siguiente modo.

DEFINICIÓN 4.16 Sea F un conjunto de hechos, y sea T una teoría estocástica que se refiere a F. Luego, $F_0 \subseteq F$ es un *campo de posibilidades según T* si T define una medida de probabilidad Pr sobre F_0, vale decir, si, para todo $x \in F_0$, $Pr(x) \geqslant 0$.

Considérese ahora un subconjunto F_0 de F. Si los hechos posibles de F_0 son mutuamente excluyentes, es decir, si la actualización de uno de ellos impide las de los demás, se dice que constituyen un *abanico de posibilidades*. Por lo general, los rayos de este abanico no son igualmente probables. La amplitud del abanico, esto es, la *indeterminación* del haz de posibilidades, se puede medir de diversas maneras. (Las medidas mejor conocidas son la desviación media estándar y la «entropía» de la teoría de la información o promedio del contenido de información del haz. Sin embargo, aquí no haremos uso de estas nociones).

En resumen, siempre que un conjunto de hechos constituya un campo de posibilidades del que se ocupe una teoría estocástica, esta teoría exactificará las nociones modales toscas, aunque no las de la lógica modal. La Tabla 4.5 exhibe la correspondencia entre un puñado de expresiones modales que no suponen modalizadores iterados y los infinitamente numerosos enunciados de probabilidad. Por pura generosidad, hemos incluido las nociones de casi imposibilidad y casi necesidad, las cuales no trata, en realidad, la lógica modal. En cambio, ésta sí hace ciertas distinciones, por ejemplo, entre $\Diamond p$ y $\Diamond \neg p$, y entre $\Box p$ y $\Box\Box p$, que son ininteligibles en otros contextos.

En tanto que en el lenguaje modal, entre los polos de la imposibilidad y la necesidad, sólo hay posibilidad y contingencia, en todo contexto probabilístico, entre esos extremos hay un rico espectro, a menudo no numerable. Además, lo que es meramente posible a corto plazo (para una muestra pequeña o una serie corta de ensayos) puede transformarse en necesario o casi necesario a largo plazo. En consecuencia, la probabilidad de que un único átomo de hidrógeno emita cierta línea de 21 cm. es una en 10^7 por segundo y, a pesar de ello, detectamos tantas ondas de este tipo como deseamos, a causa del inmenso número de los átomos de hidrógeno. Los sucesos físicos más básicos son extremadamente improbables, pero tienen efecto a causa de su gigantesco número. Dése al azar una oportunidad y éste se transformará en necesidad. Por esta razón los físicos de partículas, los físicos atómicos, los físicos moleculares y los genetistas no pueden aceptar la exhortación de Borel –en nombre del empirismo matemático– de descartar los sucesos improbables porque «no tienen significado» (Borel, 1949). Muy por el contrario, los microfísicos aceptan el llamado «principio de interacción fuerte obligatoria», formulado originalmente en tono irónico del siguiente modo: «Todo lo que no está prohibido es obligatorio» (Gell-Man, 1956; véase también Melvin, 1960, p. 481). Una formulación algo más cuidadosa de este principio dice así: es probable que todos los sucesos aleatorios repetitivos posibles (en particular, aquellos consistentes con las leyes de conservación) sucedan a largo plazo. Los biólogos han llegado a admitir un principio parecido: todo nicho ecológico en el que la vida es posible acaba siendo habitado.

Tabla 4.5 Exactificación de nociones modales mediante una teoría estocástica que incluye únicamente variables discretas (vale decir, excluye los posibles de probabilidad nula).

Lenguaje modal corriente	*Lenguaje probabilístico exacto*
x es posible x es contingente	$0 < Pr(x) < 1$
x es sólo posible x es casi imposible	$0 < Pr(x) \ll 1$
x es imposible	$Pr(x) = 0$
x es necesario	$Pr(x) = 1$
x es casi necesario	$0 \ll Pr(x) < 1$

Para resumir, los principios modales clásicos son demasiado pobres para dar razón del continuo que hay entre la imposibilidad y la necesidad. Ni siquiera basta el concepto corriente de probabilidad, aunque sólo fuera a causa de la ambigüedad de la frase del lenguaje corriente "x no es probable", la cual puede significar tanto «$Pr(x)$ es pequeña» como «$Pr(x)$ no está definida en x». La propensión aleatoria sólo puede capturarse con la fina red de las teorías estocásticas, las cuales presuponen la teoría matemática de la probabilidad. No hay mejor trampa para capturar lo que Hermann Weyl (1940) llamó «el evasivo fantasma de la modalidad».

6.4. Aleatoriedad

A una central telefónica, las llamadas llegan, a grandes trazos, de forma aleatoria en lugar de regular, porque las mismas se realizan de manera (aproximadamente) independiente unas de otras. Sin embargo, nada hay de azaroso o caótico en una secuencia irregular de sucesos. En realidad, hay una probabilidad definida de que ingrese una llamada en un intervalo de tiempo. O sea, el conjunto de llamadas entrantes es lo que hemos llamado (Definición 4.16) *campo de posibilidades*. (Véase la Figura 4.8). Por consiguiente, es posible computar algunas predicciones (probabilísticas), por ejemplo el número más probable de llamadas durante cierto intervalo de tiempo largo.

Figura 4.8. Tiempos de llegada aleatorios de, por ejemplo, clientes a un mostrador o rayos cósmicos a un contador Geiger.[#] La probabilidad de una llegada dentro de un intervalo de tiempo cualquiera no es afectada por las llegadas de otros intervalos. Véase, por ejemplo, D. R. Cox, *Queues* (Methuen, Londres, 1961), p. 6.

En otras palabras, a causa de que el conjunto de llegadas posee una estructura probabilística definida, se puede construir una teoría sobre ellas; esta teoría se llama *teoría de colas*. Lo mismo puede hacerse con otros sucesos aleatorios. Por ejemplo, el andar en zig zag de un hombre ebrio es aleatorio, al igual que la trayectoria de un grano de

[#] Se puede reconocer aquí un juego de palabras difícil de traducir: en inglés, «mostrador» se dice *counter* y «contador Geiger» *Geiger counter*. [N. del T.]

polen inmerso en un fluido y la de una partícula de humo que se mueve por el aire. La aleatoriedad consiste, en este caso, en que hay una probabilidad definida para cada segmento y cada ángulo. Sin duda, la trayectoria precisa es impredecible. Sin embargo, es posible formular ciertas predicciones para todo el conjunto de pasos, a causa de la legalidad estocástica del mismo. Por ejemplo, se puede predecir cuál será la distancia total promedio cubierta por la partícula (o el ebrio) en un intervalo de tiempo dado. Las consideraciones previas sugieren la siguiente dilucidación del concepto de aleatoriedad plena:

DEFINICIÓN 4.17 Un conjunto F de hechos es *completamente aleatorio* sii $\langle F, Pr\rangle$ es un campo de posibilidades tal que la probabilidad de un miembro cualquiera de F sea independiente de la ocurrencia o no ocurrencia de cualesquiera otras posibilidades de F.

Si, en contraste, la probabilidad de cada hecho es condicional respecto del acaecimiento de otro hecho, el conjunto de hechos no es completamente aleatorio. Por consiguiente, una cadena de Markov, si bien estocástica, no es completamente aleatoria sino que está en algún lugar entre una cadena completamente aleatoria y otra completamente determinada. Esto sugiere que hay grados de aleatoriedad. De hecho, podemos construir una medida del grado de aleatoriedad del siguiente modo. (La desarrollaremos para un campo de posibilidades finito, pero la generalización al caso infinito es sencilla). Hela aquí:

DEFINICIÓN 4.18 Sea F un conjunto de n hechos y supóngase que las probabilidades absolutas $Pr(x)$ y las probabilidades condicionales $Pr(y|x)$ están definidas para todo $x, y \in F$. Luego, el *grado de aleatoriedad* de F es:

$$r = 1 - (1/n) \sum_{x,\, y \in F} |\, Pr(y|x) - Pr(y)|.$$

Los valores extremos de r son

(a) $r = 1$, vale decir, *aleatoriedad completa*, si el acaecimiento de cualquier hecho no supone ninguna diferencia para el de otro hecho, o sea si $Pr(y|x) = Pr(y)$ para todo $x, y \in F$;

(b) $r \cong 0$, es decir, *casi determinación*, si, para todo x e y de F, las diferencias entre las probabilidades condicionales y las absolutas son cercanas a la unidad.

Se podría pensar en identificar la causalidad con $r = 0$, ya que en este caso lo que ocurra, estará condicionado por otro hecho. («Todo suceso tiene una causa»). Pero esto sería un error por las siguientes razones: *(a)* en tanto que el grado de aleatoriedad (r) está definido para los hechos en general, la relación causal es aplicable únicamente a sucesos; *(b)* en el caso de la causalidad, no necesitamos probabilidades y, por lo común, no disponemos de ellas; *(c)* tal como ha sido definido aquí, r nunca es exactamente nulo.

La aleatoriedad, que es un caso especial de la estocasticidad, es un tipo de orden y, por lo tanto, no debe ser confundido con el caos o ausencia total de leyes. Podemos definir el caos del siguiente modo:

DEFINICIÓN 4.19 Un conjunto de hechos es *caótico* si no es posible definir sobre él ninguna medida de probabilidad.

Por ejemplo, el conjunto de hechos

G ={El último disparo de la Segunda Guerra Mundial, El último sueño del lector, Mi primer choque con el coche, La independencia de Angola}

es caótico porque resulta imposible asignarle una probabilidad a cada miembro del conjunto de tal manera que $Pr(G) = 1$ y la razón de ello es que no se puede construir un modelo teórico de G.

Desde luego, el conjunto G que acabamos de presentar para ilustrar el concepto de caos o desorden es un artefacto: los miembros de G no forman una secuencia natural. En otras palabras, esos hechos no se pueden unir para formar un hecho real. Por consiguiente, conjeturamos que el caos, si bien concebible –de un modo no caótico– es irreal. O sea, ninguna de las secuencias caóticas que podamos imaginar se encontrará en la realidad. La realidad es, en gran medida, estocástica y hasta aleatoria, pero no caótica, vale decir, ilegal.

El caos es difícil de diagnosticar. Tómese, por ejemplo, una serie temporal o cualquier otra secuencia. Si ésta es finita, no importa cuán larga sea, existe al menos una variable aleatoria que mapea la secuencia. (Piénsese en una secuencia de la forma $\langle x_i \mid f(x_i) = p_i \ \& \ i \in \mathbb{N} \rangle$). Por ende, no puede decirse que la secuencia sea caótica. Si, en cambio, la secuencia es infinita, no puede proceder de la observación, pues toda experiencia es finita. Una secuencia infinita tiene que ser resultado de un cálculo con alguna fórmula o algoritmo. En consecuencia, tampoco es caótica. En resumidas cuentas, si hubiera hechos caóticos diferentes de los que inventamos en beneficio de la argumentación, no seríamos capaces de reconocerlos a causa de su falta de legalidad. [Véase, sin embargo, la definición de secuencia «aleatoria» –caótica, en nuestra opinión– de Kolmogoroff-Chaitin, en términos de la teoría de la información (Chaitin, 1974)]. Diríamos que una secuencia numérica es completamente caótica si el menor algoritmo capaz de especificarla en un ordenador posee aproximadamente la misma cantidad de información que la propia secuencia, es decir, si no hay ninguna regla que comprima la información dada).

6.5. Probabilidad y causalidad

Algunos filósofos, entre ellos Suppes (1970) y Popper (1974), han ofrecido una dilucidación probabilística de la causalidad. Se reduce a la siguiente definición: para sucesos cualquiera *a* y *b*,

a es *causa* de *b* $=_{df}$ La probabilidad de *b* dado *a* es mayor que la probabilidad absoluta de *b*, es decir, $Pr(b|a) > Pr(b)$.

De esta manera, algunos filósofos esperan reducir la determinación causal a un caso particular de lo que podríamos llamar determinación estocástica.

Sin embargo, la reducción de la causalidad a la correlación probabilística no funciona, tal como prueban los innumerables contraejemplos del siguiente tipo (cf. Bunge, 1973c). La probabilidad condicional de que el lector esté leyendo estas líneas, dado el hecho de que nació, es mayor que la probabilidad absoluta del primer suceso y, no obstante, no se puede considerar su nacimiento como una causa de que esté leyendo estas palabras. Una condición necesaria, desde luego, pero no una causa, a menos que se crea en la predestinación. Por consiguiente, la causalidad no puede definirse en términos de probabilidades. Ambos conceptos son usados por el científico que calcula la *probabilidad* de que un suceso dado *cause* cierto efecto.

Lo que causa eleva la probabilidad, pero no a la inversa. Todo aquello que eleva la probabilidad (aumenta las propensiones aleatorias) puede llamarse *influencia*. Más precisamente, si la ocurrencia de un estado (o de un cambio de estado) es más probable dada la ocurrencia de otro, podemos decir que este último influye sobre el primero. El concepto de influencia, entonces, se puede dilucidar en términos probabilísticos, a condición de que todos los espacios de estados del paciente sean probabilísticos. Pero, por lo general, no es éste el caso, salvo, desde luego, a nivel de la física cuántica. En consecuencia, no adoptaremos esta definición de influencia.

6.6. La interpretación de los universos múltiples de la mecánica cuántica

A lo largo de este capítulo hemos afirmado que la ciencia contemporánea, en particular la mecánica cuántica, se adhiere al posibilismo y evita el actualismo. No obstante, existe cierta interpretación de la formulación del estado relativo de la mecánica cuántica (Everett, 1957) que es decididamente actualista, a saber, la interpretación de los universos múltiples. Para discutir esta perspectiva, asumida por DeWitt (1970), Stapp (1971), Hart (1971) y otros pocos, es mejor hacerlo con referencia al desarrollo de la función de estado ψ en funciones ortogonales φ_n, del siguiente modo: $\psi = \sum_n c_n \varphi_n$, donde (en el más simple de los casos) los valores de n son los números naturales. Las principales interpretaciones en conflicto de este desarrollo de la serie se muestran en la Tabla 4.6.

En las dos principales interpretaciones posibilistas, los coeficientes de la expansión son amplitudes de probabilidad. En la interpretación actualista no hay probabilidades: la expansión de la serie representa la ramificación real de la cosa individual en un número infinito de copias reales de ella que no interfieren entre sí. Cada ramificación φ_n se considera real: no hay proceso de actualización (tal como, por ejemplo, el colapso $\psi \to \varphi_n$) por la sencilla razón de que, para empezar, no hay potencia. Y, puesto que estas ramificaciones no interfieren entre sí, no hay forma de saber que todas son reales simultáneamente, excepto, desde luego, sobre la base de la autoridad. La cosa se ramifica de manera infinita e infinitas veces y lo mismo hace el observador, sin saberlo, ya que no puede comunicarse con ninguna de sus copias.

Tabla 4.6 Interpretaciones alternativas del desarrollo de una función de estado en un conjunto infinito de autofunciones ortogonales de una variable dinámica

	Posibilismo		Actualismo (Universos múltiples)
	Operacionismo	Realismo	
ψ	Estado real antes de la medición	Estado real	Estado real
φ_n	Estado posible antes de la medición	Auxiliar matemático	Estado real
$\sum c_n \varphi_n$	Superposición de posibilidades	Truco matemático	Ramificación de la cosa en un número infinito de cosas que no interfieren entre sí
$\lvert c_n \rvert^2$	Probabilidad de encontrar la cosa en el estado φ_n cuando se mide la propiedad representada por el operador	Peso del enésimo autovalor del espectro de la variable dinámica	

Las objeciones obvias a esta obra de ciencia ficción son las que siguen. Primero, esas infinitas ramificaciones violarían todas las leyes de conservación; en particular, no habría suficiente energía para distribuir entre las infinitas copias de la cosa dada. Segundo, la ramificación es indetectable por principio y, por ende, tan irrefutable como imposible de confirmar empíricamente: su aceptación depende de un acto de fe. Tercero, en el caso de una variable dinámica con un espectro no numerable, el mundo se ramificaría en un conjunto no numerable de copias idénticas de sí. Si deseamos evitar esta sinrazón, no debemos intentar interpretar la mecánica cuántica en términos actualistas y tenemos que aceptar las propensiones aleatorias. Debemos tomarnos en serio la posibilidad real.

7. Comentarios finales

Hemos reconocido la posibilidad real y distinguido dos tipos de ella: la disposición causal (por ejemplo, la fragilidad) y la propensión aleatoria (por ejemplo, la propensión de un átomo a ocupar un nivel de energía definido). Además, hemos considerado que estos dos tipos de propiedad son radicalmente diferentes: en tanto que la disposición causal de una cosa es impensable sin una disposición en alguna otra cosa (piénsese en el par cerradura-llave) una disposición aleatoria es una propiedad irreducible de la cosa individual, que esta última posee aun en ausencia de un dispositivo experimental.

Nuestra concepción de la posibilidad es incompatible con el actualismo, según el cual las posibilidades están sólo en la mente. Nos hemos encontrado el criptoactualismo en la forma de la metafísica de los mundos posibles (Sección 6.2) y el actualismo manifiesto en la interpretación de los universos múltiples de la mecánica cuántica (Sección 6.6). Una expresión más común del actualismo es la interpretación frecuentista de la probabilidad. Según ésta, no hay tal cosa como una propensión aleatoria de una única cosa: sólo hay frecuencias limitantes definidas para conjuntos de cosas en su totalidad o para conjuntos de estados de una única cosa, tales como una secuencia de lanzamientos de una moneda. La frase '$Pr(a) = b$' sería, por consiguiente, una forma abreviada de algo así como «La frecuencia relativa de *a* en un conjunto grande (o una secuencia larga) de ensayos semejantes se aproxima a *b*». Esta opinión es refutada por la existencia de teorías microfísicas referentes a una sola cosa, tal como un electrón, que deben distinguirse claramente de otras que se refieren a agregados de electrones coexistentes. Otro ejemplo: la genética está en condiciones de calcular la probabilidad de una combinación génica cualquiera, la cual, dado el abrumador número de posibilidades, probablemente será un suceso único. Una frecuencia relativa es una frecuencia de reales, por lo cual no puede ser idéntica a una posibilidad, a pesar de que puede medir la intensidad o peso de esta última. A diferencia de las frecuencias, las probabilidades sí miden posibilidades reales.

Si nos tomamos en serio la posibilidad real, tenemos que rechazar el determinismo estrecho defendido por Spinoza, Hobbes, los *philosophes* y *géomètres* franceses, Kant, Łukasiewicz y muchos otros necesitaristas (como les llamaba Peirce), para quienes la posibilidad era una categoría gnoseológica, no una ontológica. (Por ejemplo, Kant sostenía que todas las categorías de la modalidad expresan relaciones con el cuerpo de conocimiento: Kant, 1781, p. A219). Y Łukasiewicz afirmó que si la posibilidad fuese una categoría ontológica, contradiría la causalidad y hasta excluiría el principio del tercero excluido, que él consideraba referente a realidades, no a posibilidades (1970, p. 35). En cambio, nosotros hemos adoptado, intentado elaborar y actualizar el posibilismo propio de pensadores tan diversos como Epicuro, Aristóteles, Crisipo, Cournot y Peirce. Sin embargo, rechazamos el posibilismo incondicional, según el cual todo es posible (Naess, 1972). Aquí hemos defendido el *posibilismo nomológico*.

El posibilismo no es solamente una doctrina metafísica sino que, como muchas ideas ontológicas, tiene consecuencias para otras disciplinas, especialmente para la teoría de la acción y la ética. Considérese, por ejemplo, la tan celebrada fórmula «La libertad humana es lo mismo que el conocimiento de la necesidad», propuesta por Spinoza y difundida por Engels. Esta fórmula necesita varias correcciones. Primero, la conceptuación de la libertad como una categoría gnoseológica niega la libertad real y óntica. Segundo, es obvio que el conocimiento, si bien necesario, en efecto, para conseguir la libertad en ciertos aspectos, no resulta suficiente para ello. Por ende, la persona que sabe que debe morir no tiene la libertad de alterar el curso de los acontecimientos de suerte de evitar el resultado final. Tercero, el conocimiento de la posibilidad real es tan importante como el conocimiento de la necesidad, más aún cuando este último es un caso particular del primero. La persona que desee apoderarse o desembarazarse de x para conseguir y hará bien de utilizar (o conjeturar) la porción de conocimiento acerca de que, en realidad, el medio x produce (con cierta probabilidad) el resultado y. Que la ley que relaciona x con y sea determinística o estocástica supone poca diferencia en la práctica si es posible realizar múltiples ensayos. Lo que sí es importante es que la relación exista y sea conocida. En resumidas cuentas, la libertad no debe identificarse con el conocimiento de la necesidad. Más bien, el conocimiento fáctico de todo tipo es sólo un medio (pero nada más que un medio) entre otros para conseguir la libertad en algunos aspectos.

Hasta aquí llegamos con el concepto de posibilidad. Ahora estamos en condiciones de afrontar el concepto general de cambio.

Capítulo 5

El cambio

Hasta aquí no nos hemos ocupado del cambio. Pero si hemos de creerle a la ciencia, debemos sostener el postulado ontológico de que todas las cosas están en flujo. En realidad, las ciencias describen, explican, predicen, controlan o producen cambios de diversas clases, tales como el movimiento, la acreción, la división y la evolución. En consecuencia, la ontología debe analizar y sistematizar estos diversos tipos de cambio.

Mientras que algunos metafísicos se han ocupado de alabar el cambio, otros lo han negado y ningunos de ellos lo ha descrito correctamente. Procederemos a elaborar un concepto de cambio lo bastante abarcador –y, por consiguiente, lo bastante pobre– como para incluir todos los conceptos de cambio, en especial aquellos que se presentan en las ciencias, y esbozaremos teorías generales del cambio de algunas clases típicas. Tales son los objetivos de este capítulo, dedicado al cambio en general. El tema del cambio cualitativo se abordará en el volumen compañero del que el lector tiene en sus manos: *Un mundo de sistemas*.

Un cambio es un suceso o un proceso, sea cualitativo, sea cuantitativo o sea ambos extremos. Sea cual fuere su naturaleza, un cambio es una modificación en o de una cosa o cosas: más precisamente, consiste en una variación del estado de una entidad. Expresado de modo negativo, no hay cambios aparte de las cosas que cambian ni hay, por cierto, cosas que no cambien. Aunque algunas cosas cambian lentamente o lo hacen sólo en algunos aspectos limitados. El universo, por ende, consta de cosas que no permanecen para siempre en el mismo estado.

Esta hipótesis metafísica es una extrapolación tanto de la experiencia corriente como del conocimiento científico. La hipótesis contraria, que nada cambia, es una extravagancia que no merece la consideración de una persona cuerda.

Puesto que un cambio es una transición de una cosa de un estado a otro, debemos basar nuestro estudio del cambio en el concepto de estado analizado en la Sección 2 del Capítulo 3. Se recordará que un estado de una cosa es una lista de propiedades individuales de la cosa, cada una de ellas representada por una función o variable de estado. Y la colección de todos los estados posibles de una cosa se llama *espacio de estados* (legal) de la cosa. Todo cambio (de estado) de una cosa se puede representar como una trayectoria en su espacio de estados. Este enfoque posee la peculiar ventaja de no requerir de un conocimiento detallado de la naturaleza de la cosa de interés: se ajusta, por ende, de manera ideal a la ontología o teoría general de las cosas. Comencemos, entonces, recordando de manera sucinta las nociones de estado y espacio de estados, tras lo cual nos zambulliremos inmediatamente en el fondo de la cuestión.

1. Mutabilidad

1.1. Preliminares

Todas las cosas están en algún estado relativamente a un marco de referencia. Y todo estado (relativo) de una cosa está determinado de manera única por las propiedades de esa cosa (relativamente a un marco de referencia). En consecuencia, el estado de una cosa con n propiedades, representada cada una por una función (de estado), es una n-tupla de valores de funciones que representa esas propiedades. Diferentes propiedades se corresponden con (están representadas por) diferentes n-tuplas. Un cambio en la representación de las propiedades, o en la elección del marco de referencia, tiene como resultado una representación diferente de los estados. Esto muestra que nuestro conocimiento de un estado depende en parte de nosotros y del estado del conocimiento, pero no que el propio estado es un artefacto del observador. Los estados, en resumen, son relativos.

Finjamos, en beneficio de la precisión, que cierta cosa x, tal como el obturador de una cámara o un interruptor eléctrico, posee una única propiedad general dicotómica: que está abierto/encendido (1) o bien cerrado/apagado (0). Los estados posibles de x son, por ende, 0 y 1. En otras palabras, el espacio de estados de x es $S(x) = \{0, 1\}$. En realidad, se trata de una simplificación extrema: 0 y 1 son sólo los estados de interés para ciertos propósitos determinados. Toda cosa real tiene un gran número n de propiedades P_i, cada una representable mediante una función F_i, en la cual $1 \leqslant i \leqslant n$. Los grados o intensidades posibles de la propiedad P_i están representados por otros tantos valores de la función F_i. Por consiguiente, el espacio de estados concebible de la cosa será el producto vectorial de las imágenes de esas funciones. Y el espacio de estados nomológico será el subconjunto de ese espacio, que resulta de las leyes que involucran las P_i: véase la Figura 5.1. Todo vale, desde luego, para una representación dada de las propiedades y, por ende de los estados.

Cada punto s perteneciente al espacio de estados legal $S_{\mathbb{L}}(x)$ de una cosa x representa un estado posible de la cosa. El estado real de la cosa está representado por lo que se llama su *punto representativo* en el espacio de estados. Un cambio real de una cosa x se representa mediante una *trayectoria* del punto representativo; esta trayectoria es, desde luego, el grafo de cierta función $S_{\mathbb{L}}(x)$. Resulta cómodo, aunque no indispensable, expresar la curva con ayuda de un parámetro, cuya intepretación estándar es el tiempo. Pero una de las ventajas de la representación del cambio en términos del espacio de estados es que no requiere una utilización explícita del concepto de tiempo.

Para fijar la idea, considérese el espacio de estados del acervo de genes [o *pool* génico] de una población de organismos. Este conjunto está incluido en el espacio cartesiano cuyos ejes son las frecuencias génicas del acervo génico. El punto representativo –el que representa el estado real del sistema– se mantendrá fijo únicamente si los organismos no sufren ninguna mutación (algo que nunca ocurre, ni siquiera en los casos en los que el entorno es muy estable, tal como en una laguna tropical). De lo contrario, el punto representativo se mueve (en el espacio de estados, no en el espacio corriente) describiendo una trayectoria. Esta curva –que en el caso de la evolución biológica no presenta bucles– representa la *historia* génica del acervo génico o evolución de la población correspondiente a nivel génico. Podemos llamar *suceso* o *proceso* que involucra el acervo génico, a todo segmento de la historia total. (Véase la Figura 5.2).

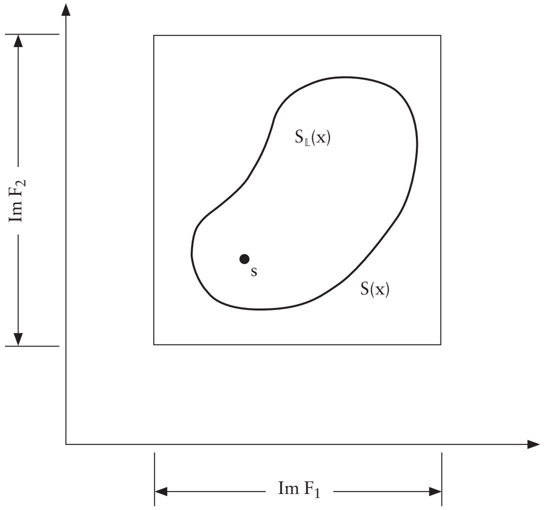


Figura 5.1. El espacio de estados concebible $S(x)$ y el espacio de estados legal $S_{\mathbb{L}}(x)$ de una cosa x con dos propiedades representadas por las funciones F_1 y F_2. '*Im F*' se interpreta como 'la imagen de *F*' y es el conjunto de valores, o recorrido, de *F*.

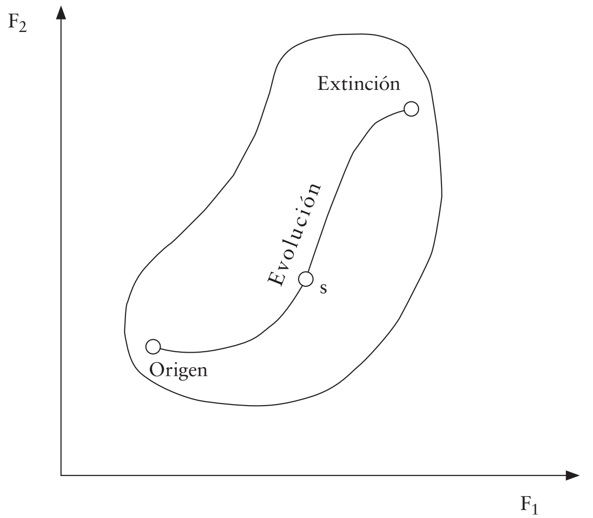


Figura 5.2. Cambio de las frecuencias génicas en un acervo génico, en respuesta a la acción conjunta de la mutación y la selección. Los extremos de la curva representan el origen y la extinción de la población dada.

Y hasta aquí los antecedentes intuitivos.

1.2. Mutabilidad

Antes de abordar el cambio real podemos dilucidar, también, la noción intuitiva de mutabilidad o «cambiabilidad»:

DEFINICIÓN 5.1 Sea x una cosa. Luego,

(i) x es *inmutable* sii $S_{\mathbb{L}}(x)$ es un conjunto unitario para todas las elecciones de la función de estado para x;

(ii) x es *mudable* (o *cambiable*) sii $S_{\mathbb{L}}(x)$ posee por lo menos dos miembros distintos para todas las elecciones de la función de estado para x.

Y a continuación nuestra primera hipótesis:

POSTULADO 5.1 Toda cosa (concreta) posee al menos dos estados y el espacio de estados de todo constructo está vacío. O sea,

(i) si x es una cosa, para todas las elecciones de la función de estado de x, $|S_{\mathbb{L}}(x)| \geqslant 2$;

(ii) si y es un constructo, no hay funciones de estado para y o, de modo equivalente, $S(y) = \varnothing$.

Una consecuencia inmediata del Postulado 5.1 y la Definición 5.1 es el

COROLARIO 5.1 Todas las cosas (concretas) son mudables y los constructos no son ni inmutables ni mudables.

Comentario 1 No afirmamos (no todavía) que todas las cosas realmente están experimentando algún cambio, sino sólo que pueden cambiar. *Comentario 2* La segunda parte del Corolario 5.1 afirma que las categorías de cambio e inmutabilidad no son aplicables a los constructos. Estos últimos no son ni objetos eternos (Platón) ni objetos mudables (Hegel). Lo que cambia de una persona a la otra son los procesos cerebrales que tienen lugar cuando los constructos son pensados.

Nuestro siguiente concepto es el de cambio global más allá del orden en el cual tenga lugar:

DEFINICIÓN 5.2 Sea $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados legal para una cosa x y sean $S_i(x), S_j(x) \subset S_{\mathbb{L}}(x)$ dos colecciones de estados de x [por ejemplo, dos regiones de $S_{\mathbb{L}}(x)$]. Luego, el *cambio global* de x entre $S_i(x)$ y $S_j(x)$ es igual a la diferencia simétrica entre los subconjuntos dados:

$$\chi_{ij}(x) = S_i(x) \, \Delta \, S_j(x).$$

Un cambio global puede ser ligero o grande, superficial o profundo. Si hay cambios de importancia en las propiedades de una cosa, pero ésta no adquiere ni pierde ninguna propiedad general, podemos decir que la cosa experimenta un *gran* cambio. Si, por el contrario, la cosa adquiere o pierde alguna propiedad general, se puede decir que la cosa experimenta un cambio *profundo*. Mientras que en el primer caso los ejes del espacio de estados se mantienen fijos, en el segundo se añaden o se quitan algunos ejes. Obtenemos una descripción sin problemas de este tipo de cambio si construimos el espacio de estados con todos los ejes que sean necesarios y, en cada instante dado, utilizamos sólo aquellas porciones del espacio total que se refieren a las propiedades que la cosa realmente posee en ese instante dado. En la Figura 5.3 representamos la evolución de una cosa imaginaria que experimenta un cambio profundo. La primera parte del proceso es descrita por una curva sobre el plano horizontal $Im\ F_1 \times Im\ F_2$; la segunda parte es descrita por una curva sobre el plano vertical $Im\ F_2 \times Im\ F_3$. El cambio cualitativo tiene lugar allí donde se unen las dos curvas. La curva completa es continua, aun cuando su tangente tiene una discontinuidad.

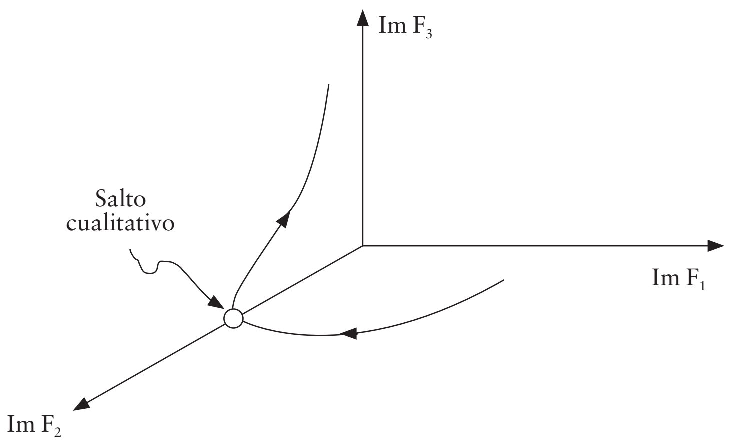


Figura 5.3. Cada arco de la curva describe un cambio cuantitativo. En la unión de los dos arcos tiene lugar un salto cualitativo.

En otras palabras, adoptamos la

DEFINICIÓN 5.3 Sea $\mathbb{F}$ una función de estado que se extiende sobre la totalidad del espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(x)$ para una cosa x. La cosa experimenta un *cambio cualitativo* sii $S_{\mathbb{L}}(x)$ es igual a la unión de por lo menos dos subespacios, cada uno de los cuales es abarcado por una proyección diferente de $\mathbb{F}$. De lo contrario [es decir, si no es posible ignorar ninguno de los componentes durante ningún tramo del proceso], la cosa experimenta únicamente un *cambio cuantitativo*.

Una consecuencia inmediata de esta definición es el

COROLARIO 5.2 Todo cambio cualitativo está acompañado por un cambio cuantitativo. [Vale decir que para toda cosa x, si x cambia de modo cualitativo, x cambia de modo cuantitativo].

La inversa no se sigue, lo cual está bien, dado que es falsa. Adviértase que la anterior no es una hipótesis ontológica independiente, sino sólo un corolario de una convención. La trampa es que esta convención ha sido urdida a los fines de producir esa consecuencia.

Hasta aquí llegamos con la distinción cualitativo/cuantitativo. Este capítulo estará dedicado al cambio en general; nos ocuparemos del cambio cualitativo en el siguiente volumen de este tratado.

2. Suceso

2.1. La representación de sucesos como pares ordenados

Sea lo que fuere, lo que cambia se puede concebir como una cosa que se transforma en otra cosa o bien como una cosa que pasa a un estado diferente. En el primer caso, el cambio de interés se puede entender como un par ordenado $\langle x, x' \rangle$, en el cual x y x' son las cosas inicial y final respectivamente. Sin embargo, puesto que los nombres o términos singulares, tales como 'x' y 'x'' no son descriptivos, esta representación del cambio es poco esclarecedora. Además, obliga a una innecesaria multiplicación del número de cosas. Por esta razón no se la utiliza en ciencia, ni nosotros la emplearemos en ontología.

Se comunica mucha más información si se reemplaza el nombre 'x' por la oración 'la cosa x en el estado s', en la cual s es un punto (o un conjunto de puntos) en un espacio de estados $S(x)$ para x. Podemos conceptuar un cambio de x como la transición del estado s a otro estado $s' \in S(x)$. En otras palabras, adoptaremos lo que podemos llamar *principio de invariancia nominal*, o permanencia de los nombres a través del cambio, y describiremos los cambios como cambios de estado. El principio, una regla de designación, se puede formular como sigue:

PRINCIPIO 5.1 Si una cosa tiene nombre, lo mantendrá a lo largo de su historia, siempre que ésta no involucre cambios de clase natural, los cuales exigen un cambio de nombre.

Para que este principio funcione, debemos incluir en el espacio de estados de una cosa todos los estados posibles de ésta, del comienzo al fin. Esto nos permite designar con el mismo nombre a una persona dada, tanto a los 5 como a los 50 años de edad, aun cuando en el ínterin esa persona haya renovado cada átomo de su cuerpo. En resumen, no hay cosas idénticas a sí mismas, sino únicamente nombres constantes que nos ayudan a mantenernos al tanto de los cambios que las cosas experimentan.

Con respecto al principio de representación, un supuesto semántico, se lo puede formular de este modo:

PRINCIPIO 5.2 Sea $S(x)$ un espacio de estados para una cosa x y sean $s, s' \in S(x)$ dos estados de x. Luego, el *cambio neto* de x, del estado s al estado s', es representable mediante un par ordenado de estos estados, vale decir, por $\langle s, s' \rangle \in S(x) \times S(x)$.

En el caso no trivial (aunque imaginario) más simple, $S(x) = \{a, b\}$, y existe una sola función g: $S(x) \rightarrow S(x)$, tal que $g(a) = b$ y $g(b)$ a, para representar los dos posibles cambios no triviales de la cosa, a saber $\langle a, b \rangle$ y $\langle b, a \rangle$. La permanencia está representada por la función i_S: $S(x) \rightarrow S(x)$, tal que $i_S(a) = a$ e $i_S(b) = b$, es decir, la función identidad sobre S.

Los principios anteriores son la pista para la teoría del cambio que desarrollaremos a continuación. Primero abordaremos el caso más simple del espacio de estados finito y luego el caso general.

2.2. El espacio de sucesos

Sea $S(x)$ un espacio de estados para una cosa x. Todo par de puntos de este conjunto representará de manera precisa, aunque tal vez no exhaustiva, un suceso o cambio concebible de x. (Concebible en lugar de realmente posible, porque *(a)* $S(x)$ es ella misma la colección de estados concebibles de x y *(b)* aun si se interpretara $S(x)$ como un espacio de estados legal, no todas las transiciones desde, o hacia, un estado dado pueden ser realmente posibles. Piénsese en el espacio de estados $S(x) =$ {vivo, muerto}.

En esta sección investigaremos la membresía y estructura precisas del espacio $E(x)$ de sucesos concebibles. Comenzaremos por el examen del caso simple de una cosa con tres estados, tal como un interruptor eléctrico con tres estados: encendido, apagado, en transición. Si llamamos a, b y c a los estados, tenemos $S(x) = \{a, b, c\}$. A continuación, formamos los pares ordenados

$\langle a, a \rangle$ la cosa x permanece en el estado a (el suceso identidad en a);
$\langle a, b \rangle$ la cosa x pasa del estado a al estado b, etc.

Cada uno de estos pares representa un cambio concebible de x, vale decir, un suceso concebible que involucra a x. Supongamos, además, en beneficio de la conveniencia, que en este caso particular todos esos sucesos pueden ocurrir, es decir, son legales. En otras palabras, establecemos la igualdad $E_{\mathbb{L}}(x) = E(x) = S(x) \times S(x)$. Por consiguiente, ahora tenemos 9 sucesos elementales, o no compuestos, en $E(x)$

$$\begin{array}{lll} e_1 = \langle a, a \rangle \equiv u_a, & e_4 = \langle a, b \rangle, & e_7 = \langle b, a \rangle \\ e_2 = \langle b, b \rangle \equiv u_b, & e_5 = \langle b, c \rangle, & e_8 = \langle c, b \rangle \\ e_3 = \langle c, c \rangle \equiv u_c, & e_6 = \langle a, c \rangle, & e_9 = \langle c, a \rangle. \end{array}$$

O sea, $E(x) = S^2(x) = \{u_a, u_b, u_c, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8, e_9\}$. Los primeros tres miembros de este conjunto son no-sucesos o cambios nulos. En consecuencia, u_a es el no-suceso que consiste en que la cosa permanece en el estado a. Todos los restantes son sucesos propiamente dichos. En la Figura 5.4 se muestra una representación gráfica estándar de este espacio.

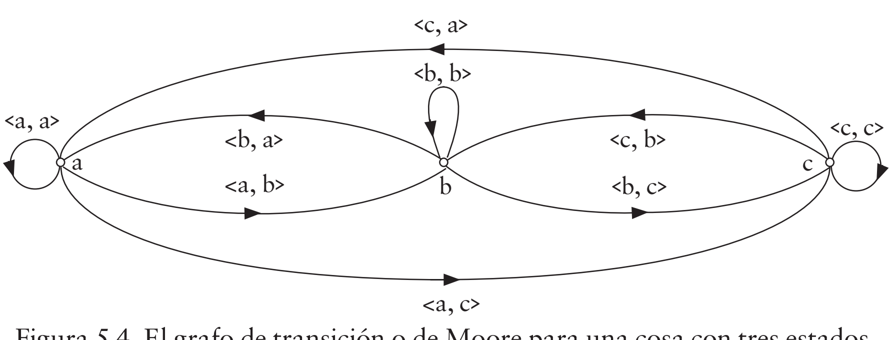


Figura 5.4. El grafo de transición o de Moore para una cosa con tres estados.

A continuación, supondremos que es posible la composición de ciertos sucesos, en tanto que la de otros no lo es. Por ejemplo, al suceso $e_4 = \langle a, b\rangle$ le puede seguir el suceso $e_5 = \langle b, c\rangle$ y el suceso complejo se puede considerar una descomposición del suceso $e_6 = \langle a, c\rangle$. Para simbolizar la composición de sucesos utilizaremos el asterisco * y escribiremos: $e_4 * e_5 = e_6$ o, de forma explícita, $\langle a, b\rangle * \langle b, c\rangle * \langle a, c\rangle$. (Es decir, en el cambio neto los estados intermedios no se muestran: son absorbidos). En cambio, el suceso complejo $\langle b, c\rangle * \langle a, b\rangle$, que es el opuesto del anterior, no acontece y, por lo tanto, se deja indefinido. En otras palabras, para representar la combinación de sucesos introducimos una operación binaria (parcial) * en $E(x)$. Si e y f pertenecen a $E(x)$, luego $e * f = g$ es otro suceso de $E(x)$ que consiste en el suceso *e seguido* del suceso f, con la salvedad de que en ciertos casos la composición no está definida.

En la siguiente tabla se exhiben las combinaciones binarias posibles de sucesos de una cosa con tres estados. Cada entrada de esta tabla de multiplicación muestra el cambio neto, no el proceso de cambio. Pero, desde luego, la tabla nos permite analizar ciertos sucesos como procesos, vale decir, como secuencias de sucesos elementales.

*	$\langle a, a\rangle$	$\langle a, b\rangle$	$\langle a, c\rangle$	$\langle b, a\rangle$	$\langle b, b\rangle$	$\langle b, c\rangle$	$\langle c, a\rangle$	$\langle c, b\rangle$	$\langle c, c\rangle$
$\langle a, a\rangle$	$\langle a, a\rangle$	$\langle a, b\rangle$	$\langle a, c\rangle$						
$\langle a, b\rangle$				$\langle a, a\rangle$	$\langle a, b\rangle$	$\langle a, c\rangle$			
$\langle a, c\rangle$							$\langle a, a\rangle$	$\langle a, b\rangle$	$\langle a, c\rangle$
$\langle b, a\rangle$	$\langle b, a\rangle$	$\langle b, b\rangle$	$\langle b, c\rangle$						
$\langle b, b\rangle$				$\langle b, a\rangle$	$\langle b, b\rangle$	$\langle b, c\rangle$			
$\langle b, c\rangle$							$\langle b, a\rangle$	$\langle b, b\rangle$	$\langle b, c\rangle$
$\langle c, a\rangle$	$\langle c, a\rangle$	$\langle c, b\rangle$	$\langle c, c\rangle$						
$\langle c, b\rangle$				$\langle c, a\rangle$	$\langle c, b\rangle$	$\langle c, c\rangle$			
$\langle c, c\rangle$							$\langle c, a\rangle$	$\langle c, b\rangle$	$\langle c, c\rangle$

De esta tabla surgen con claridad varias regularidades. Supondremos que son válidas para todo espacio de sucesos y las resumiremos en la

DEFINICIÓN 5.4 Sean $S(x) \neq \varnothing$ un espacio de estados para una cosa x y $E(x) = S(x) \times S(x)$. La terna $\mathscr{E} = \langle S(x), E(x), *\rangle$, en la cual * es una operación binaria parcial (que no está definida en todo el espacio) de $E(x)$, tal que para todo a, b, c, d de $S(x)$,

$$\langle a, b\rangle * \langle c, d\rangle = \begin{cases} \langle a, d\rangle \text{ si } b = c \\ \\ \text{no definida si } b \neq c, \end{cases}$$

es el *espacio de sucesos* de x asociado a $S(x)$ sii

(i) todo elemento de $E(x)$ representa un cambio (o suceso) concebible de la cosa x;

(ii) para todo $e, f \in E(x)$, $e * f$ representa el suceso que consiste en que el suceso e se *compone* con el suceso f en el orden indicado;

(iii) para todo $s \in S(x)$, $\langle s, s\rangle \in E(x)$ representa el *suceso identidad* (o no-suceso) en s, vale decir, la permanencia de x en el estado s.

Una consecuencia inmediata es que todo suceso concebible $\langle s, s'\rangle$, donde $s, s' \in S(x)$, tiene una única inversa, o sea $\langle s', s\rangle$. (Lo cual prueba que $E(x)$ es la totalidad de sucesos *concebibles*, no la de sucesos realmente posibles). Otra es el

COROLARIO 5.3 Para todo estado $s \in S(x)$ hay un suceso identidad $i_s = \langle s, s\rangle$ tal que, para cada $e \in E(x)$ para el cual $*$ está definida, e $* \ i_s = i_s * e = e$.

En otras palabras, la estructura $\mathscr{E} = \langle S(x), E(x), *\rangle$ es una *categoría* con conjunto de objetos $S(x)$, conjunto de morfismos $E(x)$ y morfismos identidad i_s, para todo $s \in S(x)$; la composición es $*$. El grafo de transición de la Figura 5.6 es una vívida representación gráfica de esta categoría en el caso en que $S(x)$ posee únicamente tres miembros.

Adviértase que en la categoría $\mathscr{E}$ es válido lo siguiente: para dos objetos (estados) cualesquiera $s, s' \in S(x)$ hay exactamente un morfismo en la categoría que es un isomorfismo, vale decir, la inversa de $\langle s, s'\rangle$ es el morfismo único $\langle s', s\rangle$. Esto implica el

COROLARIO 5.4 Sean $s, s' \in S(x)$ estados de x. Luego

(i) ningún suceso más que el suceso identidad es inmediatamente repetible: $\langle s, s'\rangle * \langle s, s'\rangle$ no está definido en $E(x)$;

(ii) si un suceso es seguido por su inversa, de ello no resulta ningún cambio: $\langle s, s'\rangle * \langle s', s\rangle = \langle s, s\rangle$.

En consecuencia, para que un suceso se repita, primero la cosa tiene que retroceder al estado inicial, ya sea a través del suceso opuesto (cuando es posible) o a través de sucesos intermediadores, como en el caso de $\langle s, s'\rangle * \langle s', s''\rangle * \langle s'', s\rangle = \langle s, s\rangle$.

De la Definición 5.4, se sigue que los estados intermedios no aparecen en el resultado neto. Por consiguiente, los dos procesos

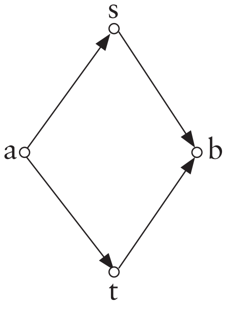


Figura 5.6. La categoría de un espacio de estados con tres elementos.

son equivalentes en que $\langle a, s\rangle * \langle s, b\rangle = \langle a, t\rangle * \langle t, b\rangle = \langle a, b\rangle$. Por ende, podemos convenir la

DEFINICIÓN 5.5 Dos sucesos complejos (procesos) en un espacio de sucesos dado, son equivalentes si tienen el mismo resultado [vale decir, si relacionan los mismos estados inicial y final].

En consecuencia, se puede interpretar todo suceso complejo como una clase de equivalencia de procesos, a saber, el conjunto de todos los procesos con los mismos puntos (estados) extremos.

Finalizamos esta sección trayendo al primer plano dos nociones que han aparecido de manera tácita en lo ya dicho y que serán de primordial importancia en lo que sigue: las de proceso y precedencia.

DEFINICIÓN 5.6 Un suceso complejo [es decir, un suceso formado por la composición de dos o más sucesos] se llama *proceso*.

DEFINICIÓN 5.7 Sean e y e' dos sucesos en un espacio de sucesos dado [vale decir, $e, e' \in E(x)$ para una cosa x], tal que e y e' se compongan para formar un tercer suceso $e'' = e * e'$. Luego, se dice que *e precede* a e' relativamente al marco de referencia involucrado en $E(x)$:

$$\text{Si } e, e' \in E(x) \quad \text{luego} \quad e < e' =_{df} e * e' \in E(x).$$

Esta relación de precedencia es irreflexiva, ya que ningún suceso se compone consigo mismo; es antisimétrica: del hecho de que dos sucesos se compongan en un orden dado, no se sigue que también se componen en el orden opuesto; y es transitiva: si un suceso se compone con otro y éste a su vez con un tercer suceso, el primero se compone con el tercero. En pocas palabras, $<$ es un *orden parcial estricto* de $E(x)$ para todo x. (Desde el punto de vista formal, por ende, la precedencia es lo mismo que $<$ en un conjunto de números y que $\subset$ en un conjunto de conjuntos). En resumen, tenemos el

COROLARIO 5.5 Para toda cosa x y toda representación de estado dadas, $\langle E(x), < \rangle$ es un conjunto parcialmente ordenado.

Que todo espacio de sucesos está ordenado por $<$ significa que, a condición de que dos sucesos en él sean componibles, uno de ellos precede al otro. Este orden no es conexo: en todo $E(x)$ hay sucesos que ni preceden ni suceden a otro, tal como lo muestra la propia definición de composición * de sucesos como operación parcial. Además, ese orden es *relativo* o dependiente del marco de referencia, no absoluto o invariante con respecto al marco de referencia, porque $E(x)$ es, él mismo, dependiente del marco de referencia. En consecuencia, si e preceda a e', relativamente a cierto marco de referencia, puede existir otro marco relativo en que e' precede a e, a menos, por supuesto, que e sea necesario para que e' ocurra. De ahí la importancia de mencionar el espacio al cual pertenecen los sucesos de interés. Más sobre esto en la Sección 2.5.

2.3. La representación de procesos

El método de rastrear el cambio paso a paso, vale decir, el de acumular pares de estados, sólo resulta viable para cosas con estados finitos. (O, más bien, puesto que no existen cosas reales con estados finitos, deberíamos decir que el método está limitado a los *modelos* de estados finitos de las cosas). Si el espacio de estados no es numerable, como ocurre con el conjunto de los reales, no hay un único estado que siga inmediatamente a un estado dado, o sea, no hay estado siguiente. En este caso, dados dos estados cualesquiera a y b de una cosa, tal que b sigue a a, hay un número infinito de estados intermedios que siguen a a y preceden a b. En estos casos, tenemos que buscar un método más potente para representar el cambio. A continuación, expondremos ese método.

En la sección 2.1 introdujimos el concepto de cambio neto. En la Sección 2.2 hemos señalado que, con frecuencia, un mismo cambio neto puede realizarse a través de diferentes estados intermedios: véase la Figura 5.5. El cambio neto entre el estado s y el estado s' en el espacio de estados $S(x)$ se puede representar mediante el par ordenado $\langle s, s' \rangle$. Pero, dado que el cambio a lo largo de la curva f es distinto del que ocurre a lo largo de la curva g, donde $g \neq f$, debemos representar los sucesos completos o procesos mediante las ternas ordenadas $\langle s, s', f \rangle$ y $\langle s, s', g \rangle$ respectivamente.

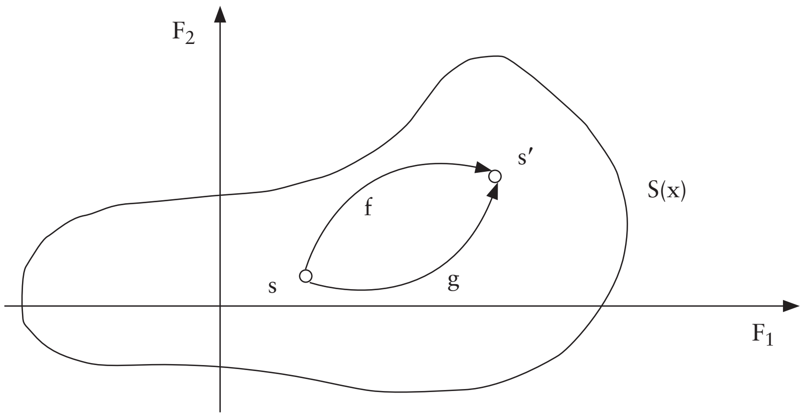


Figura 5.5. Dos procesos diferentes que tienen como resultado el mismo cambio neto.

Ahora bien, no se supone que las funciones f y g de nuestro ejemplo (imaginario) anterior sean arbitrarias: deben ser legales si hemos de admitir únicamente sucesos legales y descartar los ilegales (imposibles). En otras palabras, f y g tienen que ser leyes poseídas por la cosa x en cuestión o transformaciones del espacio de estados legal $S_{\mathbb{L}}(x)$ compatibles con esas leyes. (Las funciones no deben ser necesariamente funciones de leyes: pueden representar leyes objetivas en conjunción con sus restricciones y circunstancias, tales como las condiciones iniciales y de contorno, o bien pueden ser los cambios de representación que no producen cambios en ninguna de las leyes de la cosa). Esto sugiere el establecimiento de la

DEFINICIÓN 5.8 Sea $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados legal para la cosa x. Luego, la familia de *transformaciones legales* del espacio de estados en sí mismo es el conjunto de funciones

$$G_{\mathbb{L}}(x) = \{g \text{ es una función } | g\text{: } S_{\mathbb{L}}(x) \rightarrow S_{\mathbb{L}}(x)$$
$$\& \ g \text{ es compatible con las leyes de } x\}.$$

Resulta claro que la transformación identidad i_S: $S_{\mathbb{L}}(x) \rightarrow S_{\mathbb{L}}(x)$, en la cual $i_S(s) = s$ para todo $s \in S_{\mathbb{L}}(x)$ es un miembro fundador de $G_{\mathbb{L}}(x)$. No representa ningún cambio y puede componerse con cualquier transformación no trivial dada. Cada una de estas transformaciones no triviales $g \in G_{\mathbb{L}}(x)$, en la cual $g \neq i_S$, ayuda a representar una característica del cambio global experimentado por x, por ejemplo su cambio de lugar, de población o de situación. Puesto que los cambios reales tienen múltiples aspectos, se deben representar con la ayuda de múltiples transformaciones diferentes que se compongan para formar el cambio global. Por consiguiente, un suceso termoeléctrico se puede considerar como la composición de un suceso térmico y un suceso eléctrico, aunque no en el sentido de 'composición' incluido en una operación binaria $*$ introducido en la Sección 2.2. (La acepción de 'composición' empleada en esta sección se comprende mejor al advertir que $G_{\mathbb{L}}(x)$ es un subconjunto propio de $S_{\mathbb{L}}(x)^{S_{\mathbb{L}}(x)}$, vale decir, la familia de todas las funciones sobre $S_{\mathbb{L}}(x)$, no únicamente de aquellas que representan cambios legales. Pero el conjunto más amplio posee una estructura de monoide, dado que la composición de dos transformaciones cualesquiera de $S_{\mathbb{L}}(x)$ es una tercera transformación del mismo conjunto, y este último incluye la transformación identidad).

Pasemos ahora a la noción de interés:

PRINCIPIO 5.3 Sean $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados legal para una cosa x y $G_{\mathbb{L}}(x)$ la familia de transformaciones legales del espacio de estados en sí mismo. Luego, un suceso (proceso) legal con extremos s y s', donde $s, s' \in S_{\mathbb{L}}(x)$, es representable mediante una terna $\langle s, s', g \rangle$ en la cual $g \in G_{\mathbb{L}}(x)$ y $s' = g(s)$.

Le llamaremos *representación funcional* del cambio. Claramente, incluye la representación de pares ordenados, la cual resulta cuando la transformación g es fija y se ignoran los estados intermedios.

Considérese el caso paradigmático del modelo clásico de una partícula. El estado dinámico instantáneo de tal cosa (modelo) en movimiento a lo largo de una línea, está dado por los valores instantáneos de la posición q y el momento lineal p de la partícula, considerados como variables independientes. El espacio de estados nomológico (llamado *espacio de fase*) de esta cosa es un subconjunto del plano cartesiano $\mathbb{R}^2$. La transformación que representa el movimiento se puede calcular siempre que se conozcan o supongan *(a)* las ecuaciones de movimiento y *(b)* las fuerzas y restricciones que actúan sobre la partícula. Supongamos, para fijar las ideas, que la fuerza que actúa sobre la partícula es elástica. En este caso, nuestra cosa es un oscilador lineal y sus leyes son las ecuaciones canónicas (o de Hamilton), las cuales en este caso particular se reducen a

$$\dot{q} = p / m, \qquad \dot{p} = -kq,$$

donde m es la masa de la partícula y k la constante elástica. Luego, si llamamos $q(t) = q$, $q\,(t + h) = q'$, donde $h \in \mathbb{R}^+$, y de manera semejante para el momento lineal, y desarrollando q' y p' en series potencia, se obtiene

$$\begin{matrix} q' = q \cos ah + a^{-1}\, p \operatorname{sen} ah \\ p' = p \cos ah - aq \operatorname{sen} ah \end{matrix}, \text{ con } a = (k/m)^{1/2}.$$

El valor q' de la coordenada de posición en el instante $t + h$ es, por ende, una función de los valores anteriores tanto de la posición como del momento lineal y lo mismo ocurre con el valor p' del momento lineal. Una transformación que representa este cambio (movimiento) se llama *transformación canónica* o transformación que satisface las ecuaciones canónicas de movimiento. Esta transformación, para un valor dado del cambio en el tiempo h, es una función g: $\mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^2$, tal que $g(q, p) = \langle q', p' \rangle$ como la ya mencionada. (Hay dos funciones involucradas, pero se las puede considerar simplemente como dos componentes de g). La transformación se puede interpretar como una rotación en el espacio de estados, en el cual los ejes cartesianos ahora son $x = a^{-1}p$ e $y = q$, y el ángulo de rotación $\alpha = ah$. Esta transformación, lejos de ser arbitraria, está limitada por las leyes del movimiento. El efecto neto de esta restricción es que la elipse $p^2 / a^2 + q^2 = 1$ se transforma en la elipse $p'^2 / a^2 + q'^2 = 1$, en lugar de convertirse en una curva de tipo diferente.

A menos que el espacio de estados sea unidimensional, el cambio se representará mediante más de una función definida sobre el espacio de estados. En consecuencia, en el ejemplo anterior, la función de transformación resultó tener dos componentes, u y v, tal que $q' = u(q, p)$ y $p' = v(q, p)$. Pero u y v son, tal como se ha señalado antes, los dos componentes de una única función g que aplica $S(x)$ a sí misma y satisface las ecuaciones de movimiento.

2.4. El espacio de sucesos legales

En la Sección 2.2 caracterizamos el espacio de sucesos netos concebibles. A continuación pasaremos a la caracterización del espacio de sucesos realmente posibles (es decir, legales), teniendo en cuenta todos los estados intermedios entre los puntos extremos que definen los sucesos netos. Recordemos el Principio 5.3 acerca de la representación funcional de un proceso completo –no sólo de sus puntos extremos– como una terna ordenada $\langle s, s', g\rangle$. La colección de todas esas ternas para una transformación fija g se puede considerar un conjunto de pares ordenados y un subconjunto del espacio $E(x)$ de sucesos concebibles. Representa la totalidad de los cambios de tipo g que ocurren en, o le ocurren a, la cosa x. Y el espacio total de sucesos para una cosa dada es la colección de todos esos espacios de sucesos parciales. De forma más explícita, proponemos la

DEFINICIÓN 5.9 Sean $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados legal para una cosa x y $G_{\mathbb{L}}(x) \subseteq S_{\mathbb{L}}(x)^{S_{\mathbb{L}}(x)}$ la familia de transformaciones legales de $S_{\mathbb{L}}(x)$. Luego,

(i) las transformaciones g-legales (o conjunto de *cambios de la clase* g) para x, o *espacio de sucesos g-legales*, es el conjunto de pares ordenados de estado

$$Eg(x) = \{\langle s, s'\rangle \in S_{\mathbb{L}}(x) \times S_{\mathbb{L}}(x) \,|\, s' = g(s) \;\&\; g \in G_{\mathbb{L}}(x)\};$$

(ii) la totalidad de transformaciones legales de x, o *espacio de sucesos legales* (en todos los aspectos) de x, es la unión de todos los espacios de sucesos parciales:

$$E_{\mathbb{L}}(x) = \bigcup_{g \in G_{\mathbb{L}}(x)} E_g(x).$$

(Podríamos haber definido $E_{\mathbb{L}}(x)$ como la familia de todos los $E_g(x)$, pero entonces un suceso singular perteneciente a cualquiera de ellos no pertenecería a la primera).

A continuación, relajaremos la condición de que las transformaciones del espacio de estados legal sean ellas mismas legales y consideraremos el espacio de sucesos concebibles. Ahora estamos en condiciones de generalizar el resultado acerca de los sucesos netos obtenido en la Sección 2.2.

Considérense los sucesos $\langle s, s', g\rangle$ y $\langle s', s'', h\rangle$, donde $s, s', s'' \in S_{\mathbb{L}}(x)$, y g, $h \in G(x) = S_{\mathbb{L}}(x)^{S_{\mathbb{L}}(x)}$. Vale decir, consideramos dos procesos concebibles que tienen lugar en la misma cosa. A causa de que las transformaciones g y h se componen, los sucesos se componen en el orden indicado:

$$s \xmapsto{g} s' \xmapsto{h} s''$$

para producir el cambio neto $\langle s, s'', h \circ g\rangle$, donde '$\circ$' simboliza la función de composición. En el caso particular en el que $h = i_S$ (identidad), obtenemos

$$s \xmapsto{g} s' \xmapsto{i_S} s'$$

lo cual se reduce a $\langle s, s', g\rangle$. Esto prueba que el espacio de sucesos concebibles es una categoría. Más precisamente, hemos demostrado con toda generalidad el

TEOREMA 5.1 Sean $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados legal para una cosa x y $G(x) = S_{\mathbb{L}}(x)^{S_{\mathbb{L}}(x)}$ la totalidad de las transformaciones (legales e ilegales) de $S_{\mathbb{L}}(x)$. Además sea '$\circ$' la composición de las transformaciones (funciones) en G. Luego, la terna $\mathscr{E} = \langle S_{\mathbb{L}}(x), G_{\mathbb{L}}(x), \circ\rangle$, que llamaremos *espacio de sucesos concebibles de* x, es una categoría. Los objetos de esta categoría son todos los estados $s \in S_{\mathbb{L}}(x)$ de la cosa, los morfismos de todas las transformaciones $s \xmapsto{g} s'$ con $g \in G(x)$ y $s' = g(s)$, así como las funciones identidad $s \xmapsto{i_s} s$.

Este resultado (obtenido con ayuda de Arturo Sangalli) no es tremendamente importante porque se refiere a la estructura del espacio de sucesos concebibles, no al de sucesos legales. Con todo, muestra la estructura en la cual el espacio de sucesos legales $\mathscr{E}_{\mathbb{L}}(x) = \langle S_{\mathbb{L}}(x), G_{\mathbb{L}}(x), \circ\rangle$ está incluido. Además, nos enseña cómo componer sucesos completos, en lugar de sólo sucesos netos. En realidad, hemos aprendido que la composición de sucesos procede tal como lo indica la

DEFINICIÓN 5.10 Sean $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados para una cosa x y $G_{\mathbb{L}}(x)$ el correspondiente conjunto de transformaciones legales de $S_{\mathbb{L}}(x)$. Además, llamemos $e = \langle s, s', g\rangle$ y $e' = \langle s'', s''', h\rangle$ dos sucesos en el espacio de sucesos legales $E_{\mathbb{L}}(x)$ definido por $S_{\mathbb{L}}(x)$ y $G_{\mathbb{L}}(x)$. Luego, e y e' se *componen* en el orden indicado para formar un tercer suceso e″ sii el final del primero coincide con el principio del segundo y si las dos transformaciones se componen para formar una tercera transformación legal. Si la composición tiene lugar, decimos que el primer suceso *precede* al segundo. En símbolos:

$$\text{(i) } \langle s, s', g\rangle * \langle s'', s''', h\rangle = \begin{cases} \langle s, s''', h \circ g\rangle \text{ sii } s' = s'' \ \&\ h \circ g \in G_{\mathbb{L}}(x) \\ \text{de lo contrario indefinido} \end{cases}$$

$$\text{(ii) } e \prec e' =_{df} e * e' \in E_{\mathbb{L}}(x).$$

Y ahora sí, unos pocos ejemplos, que ya es tiempo.

Ejemplo 1 Sea la cosa un sistema conservativo con n componentes. Su espacio de estados clásico es el espacio cartesiano $6n$ dimensional abarcado por la función de estado cuyos componentes son las coordenadas de posición $3n$ generalizadas y los $3n$ momentos lineales. El espacio de sucesos está incluido en el conjunto de grafos de las transformaciones canónicas o de contacto, las cuales son aquellas transformaciones del espacio de estados (fases) que dejan sin cambios a las leyes de movimiento. Para los detalles del caso más simple, véase el ejemplo de la Sección 2.3. *Ejemplo 2* El espacio de estados de un sistema cuántico es un espacio de Hilbert, cierto conjunto de funciones. El operador $T = \exp(iHt/\hbar)$ definido en este espacio, vale decir, $T: S \to S$, permite representar los cambios en los estados del sistema. En consecuencia, si $Q(t_0)$ representa el valor de una propiedad Q del sistema en el instante t_0, su valor en el instante t es $Q(t) = TQ(t_0)T^{-1}$. *Ejemplo 3* Algunos o aun todos los componentes de la función de estado para una cosa podrían ser variables aleatorias. En ese caso, el espacio de estados correspondiente sería un espacio de estados probabilísticos (Capítulo 4, Sección 4.2). Las leyes de cambio o, en todo caso, algunas de ellas, no sólo se referirían a los estados de un modo directo, sino más bien a sus probabilidades o, mejor dicho, a las probabilidades de las diversas transiciones de estado posibles (legales). Estas probabilidades son condicionales. Considérese el caso simple de un espacio de estados con un número finito de puntos, cada uno de los cuales posee una probabilidad definida. Cada estado final s_f puede surgir (originarse) a partir de otro estado cualquiera s_i, con una probabilidad definida $Pr(s_f|s_i)$, la cual, desde luego, puede ser nula para algunos pares de estados. Para un i fijo, todas estas probabilidades se suman hasta la unidad. La probabilidad total de que el estado s_f se actualice es

$$Pr(s_f) = \sum_i Pr(s_i) \cdot Pr(s_f | s_i).$$

2.5. Seguimiento de estados cambiantes

En tanto que algunas propiedades de una cosa, tales como su composición, no varían relativamente al marco de referencia (son absolutas), otras –tales como la energía– son marco-dependientes o relativas. Puesto que todas las cosas poseen energía, los estados de toda cosa son relativos: recuérdese la Sección 2.8 del Capítulo 3. Y puesto que los estados son relativos, también lo son los sucesos. Es cierto, los sucesos tales como girar un interruptor o besar parecen absolutos. Pero esto es así únicamente porque al pensar en ellos nos centramos en lo que parece típico, dejando a un lado diversas características que son marco-dependientes, tales como la localización y la velocidad de la(s) cosa(s) en la(s) cual(es) tiene lugar el suceso. Un análisis razonablemente completo de un suceso exige la determinación de diferentes características, la mayoría de las cuales seguramente serán relativas antes que absolutas. De ahí proviene la

REGLA 6.1 Refiérase toda función de estado –ergo, todo espacio de estados y todo espacio de sucesos– a una cosa (marco de referencia) estándar.

La alusión explícita a un estándar no sólo funciona como recordatorio de que el cambio es relativo: también se la puede emplear para etiquetar los estados y seguir sus cambios de un modo más preciso que el utilizado hasta el momento. Tal es, en realidad, el interés de la Definición 3.14: nos permite identificar los estados de la cosa en términos de estados de referencia o estados de un estándar. Recordemos cómo lo hicimos y mejoremos esa parametrización.

Sea $S(f)$ un espacio de estados de un marco de referencia f para una cosa x, con un espacio de estados $S(x)$. Además, supóngase que el dominio de la función de estado $\mathbb{F}$ que abarca $S(x)$, en lugar de no tener relación con el marco de referencia es igual a la colección $S(f)$ de estados de referencia. Vale decir, establecemos $\mathbb{F}: S(f) \rightarrow S(x)$, de suerte que cada estado de referencia $t \in S(f)$ esté pareado con un único estado de la cosa $s = \mathbb{F}(t) =$ $= \langle F_i(t) \mid 1 \leqslant i \leqslant n \rangle$, donde n es el número de propiedades representadas por $\mathbb{F}$. Ahora, la función de estado $\mathbb{F}$ es la lista de propiedades de la cosa x *relativamente a* (o *parametrizada por*) *el marco de referencia* *f*. Dado un estado de referencia cualquiera *t*, $\mathbb{F}$ asume el estado de la cosa $\mathbb{F}(t)$ correspondiente. Y una sustitución del marco *f* por un marco no equivalente f' vendrá acompañada de valores diferentes $\mathbb{F}(t')$ de la función de estado.

Los estados de un marco de referencia se pueden describir con diverso grado de precisión. Pero si hemos de utilizarlos para etiquetar o identificar estados de una cosa, la precisión no puede ser menor que la empleada para describir los estados de la cosa. Ahora bien, normalmente, en ciencia se busca y a menudo se consigue una precisión máxima, la cual consiste, en este caso, en asignar valores reales a las propiedades individuales de las cosas. O sea, casi siempre cada valor de la función de estado F_i para una cosa dada es igual a un número real r_i, de modo tal que el estado de la cosa en (relativamente a) $\mathrm{t} \in S(f)$ es $\mathbb{F}(\mathrm{t}) = \langle F_i(t) \mid 1 \leqslant i \leqslant n \rangle = \langle r_1, r_2, \ldots, r_n \rangle$. Un grado tan elevado de precisión exige una precisión similar en la descripción de los estados de referencia. Y tal precisión se consigue asignándoles valores de coordenadas.

El procedimiento de coordenación,[#] o asignación de coordenadas, se visualiza mejor si se entiende $S(f)$ como un sistema de cuatro ejes cartesianos, de suerte que a cada estado de referencia se le asigna una cuaterna [o cuádrupla] de números reales. O sea, escogemos aquellas propiedades de un marco de referencia que se pueden mapear en una cuadrícula cuadridimensional y dejamos a un lado todas las demás propiedades. (Los nodos de la cuadrícula, finalmente, se interpretan como puntos del espaciotiempo). Por último, referimos los estados de la cosa, no a los estados de referencia sino a sus etiquetas numéricas, como cuando decimos que 'X soñaba en la esquina a las 7:00 p.m.'. Vale decir, pareamos cada estado de la cosa con un punto de la cuadrícula de referencia.

La asignación de coordenadas a los estados de referencia se realiza por medio de una correspondencia uno a uno k: $\mathbb{R}^4 \rightarrow S(f)$ entre las cuaternas ordenadas de números reales y los estados de referencia. La composición $\lambda = \mathbb{F} \circ k$ de la función de coordenación con la función de estado asigna a cada punto $r = \langle t, x, y, z \rangle$ de la cuadrícula de referencia

[#] Neologismo castellano que traduce el neologismo técnico inglés "*coordinatization*" y que utilizaremos en particular, para traducir "*coordinatization function*" como "función de coordenación". [N. del T.]

un estado s de la cosa, vale decir, $r \xmapsto{k} t \xmapsto{\mathbb{F}} s$, tal como se muestra en la Figura 5.6 y en el diagrama conmutativo que se ofrece más adelante.

Ahora bien, la cuadrícula de referencia está parcialmente ordenada. En efecto, si r y s son cuaternas de números reales, luego $r \leqslant s$ sii cada componente o coordenada de r es menor que la correspondiente coordenada de s. O sea,

$$\langle r_1, r_2, r_3, r_4\rangle \leqslant \langle s_1, s_2, s_3, s_4\rangle \quad \text{si} \quad r_{\mathrm{i}} \leqslant s_i \quad \text{para todo} \quad i = 1, 2, 3, 4.$$

En consecuencia, $\langle S(f), \leqslant \rangle$ es un conjunto parcialmente ordenado. Este orden no es conexo: no todos los pares de estados de referencia están relacionados por $\leqslant$: véase la Figura 5.7. Y la misma clase de orden se impone, mediante $\mathbb{F}$, al conjunto $S(x)$ de los estados de la cosa, aun si $\mathbb{F}$ no asume valores en $\mathbb{R}^n$, como cuando se dice que un mamífero atraviesa cuatro estados de desarrollo.

$$\begin{tikzcd} \mathbb{R}^4 \arrow[r, "k"] \arrow[dr, "\lambda"'] & S(f) \arrow[d, "\mathbb{F}"] \\ & S(x) \end{tikzcd} \qquad \lambda = \mathrm{F} \circ \mathrm{k}$$

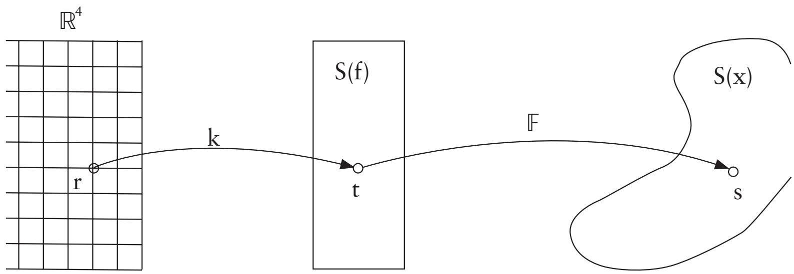


Figura 5.6. Coordenación de estados. A cada estado de referencia $t \in S(f)$ se asigna, como máximo, un estado $s \in S(x) \subseteq \mathbb{R}^4$ de la cosa y se lo representa mediante una cuaterna de números reales $r \in \mathbb{R}^4$.

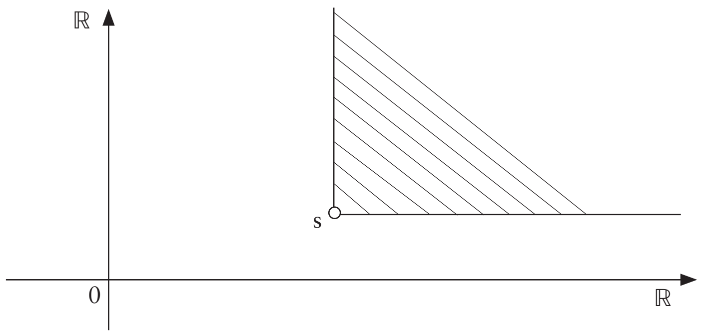


Figura 5.7. El estado *s* precede a todos los demás en la región sombreada, pero a ninguno que esté localizado fuera de ella.

Las reflexiones anteriores se pueden resumir en la

DEFINICIÓN 5.11 Sea f un marco de referencia para una cosa x, y sean $S(f)$ y $S(x)$ sus respectivos espacios de estados. Además, supóngase que $S(f)$ es abarcado por una función de estado de cuatro componentes, mientras que $S(x)$ es recorrido por una función de estado $\mathbb{F}$ de n componentes. Luego, la *coordenación* de los estados tanto de x como de f es una correspondencia 1 – 1 $k: \mathbb{R}^4 \to S(f)$, tal que

(i) k asigna a cada estado de referencia $s \in S(f)$ una cuaterna de números reales r, a consecuencia de lo cual cada estado de la cosa $s \in S(x)$ es identificado como la n-tupla $s = (\mathbb{F} \circ k)\,(r)$;

(ii) k conserva el orden, vale decir que el orden parcial de $\mathbb{R}^4$ induce el ordenamiento parcial de los estados de referencia, lo cual a su vez ordena los estados de la cosa: para todo $t_1, t_2 \in S(f)$,

$$\text{si } r_1 \leqslant r_2 \quad \text{luego} \quad k(r_1) \leqslant k(r_2) \;\&\; \mathbb{F}(t_1) \leqslant \mathbb{F}(t_2),$$
$$\text{donde} \quad t_i = k(r_i).$$

En otras palabras, una coordenación de estados es una función monótona que etiqueta y ordena los estados de la cosa mediante los estados de referencia:

$$\langle \mathbb{R}^4, \leqslant \rangle \xrightarrow{k} \langle S(f), \leqslant \rangle \xrightarrow{\mathbb{F}} \langle S(x), \leqslant \rangle.$$

Cuando el marco de referencia pasa de un estado a otro, también lo hace la cosa: en consecuencia, los estados sucesivos de una cosa se pueden relacionar –y por consiguiente identificar por medio de (pero no *con*)– los estados sucesivos del estándar. Y, a su vez, el ordenamiento de los estados induce un ordenamiento de los sucesos (en la misma cosa y relativamente al mismo marco de referencia). Por consiguiente, podemos formular la

DEFINICIÓN 5.12 Sean s, s', s'', s''' cuatro estados de una cosa dada relativamente a cierto marco de referencia, tal que los dos primeros formen un suceso neto $e = \langle s, s' \rangle$ y los dos últimos otro suceso $e' = \langle s'', s''' \rangle$. Luego,

(i) $e \preccurlyeq e' =_{df} s \leqslant s'' \ \&\ s' \leqslant s'''$;

(ii) $e \sim e' =_{df} e \preccurlyeq e' \ \&\ e' \preccurlyeq e''$.

La relación $\preccurlyeq$ de orden de sucesos es reflexiva: dos sucesos son congruentes si sus respectivos estados inicial y final son congruentes, vale decir

$$e \sim e' =_{df} s \sim s'' \ \&\ s' \sim s'''.$$

También está claro que $\preccurlyeq$ es antisimétrica y transitiva. En consecuencia, $\preccurlyeq$ es un orden parcial, a diferencia de la relación introducida por la Definición 5.7, la cual sólo era un orden parcial estricto. Por consiguiente, en lugar del Corolario 5.5, tenemos el

COROLARIO 5.6 Para toda cosa x y relativamente a un marco de referencia dado, $\langle E(x), \preccurlyeq \rangle$ es un conjunto parcialmente ordenado.

Nuestra nueva definición de orden de sucesos es más abarcadora que la Definición 5.7, dado que incluye el caso particular en el que e se compone con e' para formar un tercer suceso $e'' = e * e'$ (en cuyo caso, $s' = s''$), así como el caso en el que no se componen. (Véase la Figura 5.8). La composición de sucesos sólo es posible si la precedencia es propia: $e * e' = e''$ si $s' = s'' \ \&\ e < e'$.

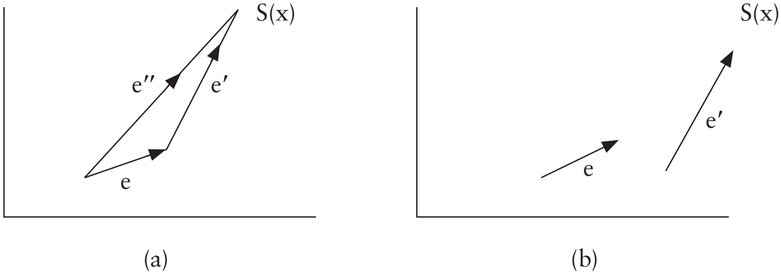


Figura 5.8. Orden de sucesos. *(a)* $e \prec e'$ y ambos se componen para formar e''. *(b)* e $\prec$ e', pero no se componen.

En consecuencia, dos sucesos no se componen si ninguno precede al otro. Lo cual es bastante obvio, como lo es que los eslabones de una cadena de sucesos deban seguirse uno a otro. Lo que, a su vez, sugiere definir una *cadena de sucesos* como un conjunto numerable estricta y parcialmente ordenado de sucesos $E^*(x)$ incluido en el espacio de sucesos de una cosa x, tal que para todo $e, e' \in E^*(x)$, si $e \prec e'$, el final del estado de e coincide con el inicio del estado de e', de suerte que ambos sucesos se componen. Más sobre esto en la Sección 3.1.

Por último, procederemos a formalizar la noción de colección de variables, vale decir, una colección cuya membresía cambia al sucederse los estados de referencia, por ejemplo la población de una ciudad. Obviamente, el concepto de conjunto no servirá porque todo conjunto posee una membresía fija. Pero en lugar de utilizar un único conjunto, podemos emplear una familia de conjuntos indexada por un parámetro de cambio al que llamaremos t. Por consiguiente, si llamamos C_t a una colección en t, formamos la familia $C = \{C_t \mid t \in T\}$, a la cual podemos llamar colección de variables. O, de modo equivalente, podemos proponer la

DEFINICIÓN 5.13 Sea $t \in S(f)$ el parámetro de cambio del marco f. Luego, toda función

$$K: S(f) \rightarrow C, \text{ con } C = \{C_t \mid t \in S(f)\},$$

tal que $K(t) = C_t$ para $t \in S(f)$, se llama *colección de variables*.

De aquí en adelante adoptaremos esta interpretación de colección de variables, especialmente en el Volumen 4 de este tratado, cuando nos ocupemos de poblaciones de moléculas, organismos y personas, cuya membresía, a diferencia de la de los conjuntos, cambia con el tiempo. Resulta particularmente ventajosa para analizar las propiedades de las colecciones. Tómese, por ejemplo, la numerosidad o población de una colección de variables tal como un ecosistema. Se la puede considerar una función p: $C \to \mathbb{N}$ que asigna a cada miembro de la familia C un número natural $n \in \mathbb{N}$. Esta función se compone con K para producir la función $f = p \circ K$: $S(f) \to \mathbb{N}$, la cual asigna a cada estado de referencia (o instante) $t \in S(f)$ un número natural, a saber, la población de la colección de variables. (Para tiempos discretos está disponible la teoría matemática de conjuntos a través del tiempo).

2.6. Tasa, amplitud y potencial de cambio

La primera noción que deseamos aclarar es la de tasa de cambio. En realidad, existe una gran familia de conceptos de tasa de cambio, de los cuales presentaremos únicamente los dos más comunes.

Supóngase que tanto los estados de referencia como los estados de la cosa han sido correctamente coordenados (Sección 2.5). Entonces, todo estado de referencia $t \in S(f)$ está representado por una cuaterna de reales: $t = \langle \alpha, \beta, \gamma, \delta \rangle$. Por consiguiente, el estado correspondiente de la cosa es $s = \mathbb{F}(t) = \mathbb{F}(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$. Si $\mathbb{F}$ posee una componente F_i que es diferenciable una vez con respecto a uno de los cuatro parámetros de referencia, por ejemplo α, luego la tasa de cambio de F_i con respecto a α es la derivada parcial de F_i respecto de α. La cosa no cambia en absoluto en el *i*ésimo aspecto en el intervalo $[\alpha_1, \alpha_2]$ si $\delta F_i / \delta\alpha = 0$ para todo $\alpha \in [\alpha_1, \alpha_2]$. Cambia rápidamente en el mismo aspecto, en el mismo intervalo, si la correspondiente tasa de cambio es apreciable relativamente al propio F_i; de lo contrario, cambia lentamente. De más está decir que no es necesario que el parámetro de referencia sea el tiempo. En resumen, estableceremos la

DEFINICIÓN 5.14 Sean los estados de una cosa x coordenados a través de los de cierto marco de referencia, de suerte que cada estado de la cosa sea de la forma $s = \mathbb{F}(\alpha, \beta, \gamma, \delta)$, en la cual los argumentos son los parámetros que identifican los estados de referencia. Además, sea el iésimo componente de $\mathbb{F}$, diferenciable con respecto a α. Luego,

(i) la *tasa relativa de cambio* de x en el $i$ésimo aspecto y con respecto a α es

$$V_i = \frac{1}{F_i} \frac{\partial F_i}{\partial \alpha};$$

(ii) la *amplitud relativa del cambio* de x en el $i$ésimo aspecto, con respecto a α y en el intervalo $[\alpha_1, \alpha_2]$ es

$$\Delta_i (\alpha_1, \alpha_2) = \frac{\ln F_i(\alpha_2) - \ln F_i(\alpha_1)}{\alpha_2 - \alpha_1} \text{ siempre que } F_i(\alpha_1), F_i(\alpha_2) > 0.$$

Si la cosa cambia periódicamente con período $[\alpha_1, \alpha_2]$, la amplitud de su cambio en un múltiplo de la integral del período es nula. Esto proporciona una definición del concepto de *cambio cíclico*.

La definición anterior no nos es útil en el caso de un espacio de estados probabilísticos, cuyos puntos no están pareados a ningún marco de referencia. En este caso, nos interesan los cambios globales, que son invariantes respecto del marco. Se puede considerar que la tasa de cambio del estado s_i al estado s_j es la probabilidad condicional de s_j dado que s_i se ha actualizado, vale decir, $Pr(s_j \mid s_i)$. Las razones que subyacen a esta elección son las siguientes. Piénsese en una cosa compleja, de la cual n_i componentes están en el estado s_i, n_j en el estado s_j y así sucesivamente. Luego, $n_i Pr(s_j \mid s_i)$ medirá el número más probable de componentes que pasan del estado s_i al estado s_j. Cuanto mayor sea este producto, mayor será la tasa de cambio. Por consiguiente, la matriz estocástica $\| Q_{ij} \| = \| Pr(s_j|s_i) \|$ representa la tasa de cambio global de la cosa. Si la matriz es diagonal, vale decir, si $Pr(s_j, s_i) = \delta_{ij} p_i$, donde δ_{ij} es la delta de Kronecker y p_i la probabilidad del estado s_i, entonces la cosa no cambia. Cuanto mayor sea el cambio, mayores serán los términos $\| Q_{ij} \|$ localizados fuera de la diagonal. Y la amplitud del cambio, llamada también *movilidad*, es igual a la suma de los productos de los términos no diagonales por sus correlatos simétricos. Resumiremos lo anterior en la

DEFINICIÓN 5.15 Sea $\langle S(x), Pr\rangle$, donde $S(x)$ es un espacio de estados numerable para una cosa x y Pr una medida de probabilidad de $S(x)$, un campo de posibilidades para x. Luego,

(i) la *tasa de cambio global* de x es la matriz estocástica

$$\| Q_{ij} \| = \| Pr(s_j | s_i) \| \qquad \text{con } s_i, s_j \in S(x),$$

donde $Pr(s_j \mid s_i)$ es la probabilidad del estado s_j dado que el s_i se ha actualizado;

(ii) la *amplitud de cambio* (o *movilidad*) de x es

$$\Delta = \sum_{i \neq j} Q_{ij} \cdot Q_{ji} = \sum_{i \neq j} Pr(s_j \mid s_i) \cdot Pr(s_i \mid s_j).$$

Esta última es una medida de la mutabilidad de ciertas cosas en ciertos aspectos, a saber, aquellos que se pueden describir con ayuda de un campo de posibilidades numerable. Pero no es una medida de la mutabilidad o cambiabilidad global de una cosa arbitraria. ¿Cuán mudable es (en todos sus aspectos) una cosa arbitraria? De manera equivalente, ¿cuán grandes son los espacios de sucesos? Para responder esta (imprecisa) pregunta, considérese el conjunto de *todas* las propiedades de una cosa real cualquiera y un modelo teórico realista de esa cosa, por ejemplo la teoría relativista del electrón o del campo gravitatorio. Este modelo o esquema funcional se basa en cierto conjunto sobre el cual está definida una función de estado $\mathbb{F}$ de n componentes, cada uno de los cuales representa una propiedad (cambiable) de la cosa. Al menos algunos de los componentes de la función de estado deberán ser continuos con respecto a alguna de las «variables independientes». Llamemos F_i a esa variable de estado continua. A medida que la cosa cambia, los valores de F_i varían de modo continuo (o, por lo menos, continuo de a intervalos) aun cuando otros componentes de $\mathbb{F}$ cambien a saltos. (Piénsese en una cosa que gana o pierde cuantos de carga eléctrica o en personas mientras pierden o ganan impulso). Véase la Figura 5.9. Claramente, el espacio (de estados) abarcado por $\mathbb{F}$ no es numerable.

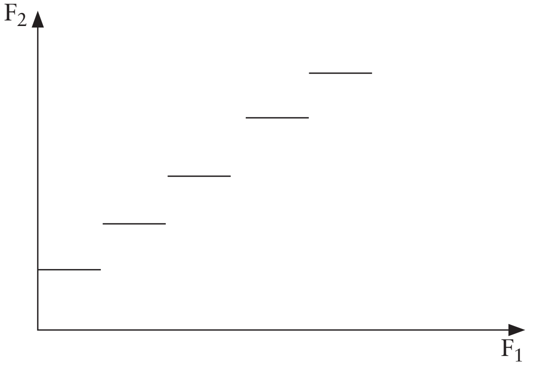


Figura 5.9. Un espacio de estados con un eje continuo (F_1) y otro discontinuo (F_2). La línea discontinua representa la evolución de la cosa. La totalidad de estados no es numerable.

Supondremos que toda cosa posee al menos una propiedad que cambia de modo continuo con respecto a alguna variable, «variable independiente» que, habitualmente, es una coordenada temporal o espacial.

POSTULADO 5.2 Toda función de estado [realista] tiene al menos un componente continuo.

Puesto que el espacio de estados es el conjunto de puntos barridos por la punta de la función estado, tenemos el

COROLARIO 5.7 Todo espacio de estados [realista] es no numerable.

Y a partir del modo en que se construyen los sucesos, inferimos también el

COROLARIO 5.8 Todo espacio de sucesos [realista] es no numerable.

Es cierto, a menudo construimos modelos de cosas (objetos modelo) cuyos espacios de estados son numerables o, incluso, infinitos. Pero esto se hace más en pro de la conveniencia que de la verdad, es decir, porque nos interesan sólo unos pocos aspectos de la cosa como totalidad. En consecuencia, aun cuando la teoría de autómatas modeliza ciertas máquinas suponiendo que sólo tienen un número finito de estados, el diseño y construcción real de esas máquinas presupone teorías que suponen espacios de estados no numerables, tales como los analizados en las Secciones 2.4 y 2.5 del Capítulo 3. Incluso si el universo constara únicamente de dos cosas en movimiento relativo (por ejemplo, una molécula diatómica), el espacio de sucesos del mundo sería no numerable. En conclusión, los espacios de sucesos realistas son tan grandes como todo subconjunto de la recta real: poseen toda la potencia del continuo.

A causa de que todos los espacios de sucesos realistas son igualmente abultados# (Corolario 5.8), no ofrecen una medida adecuada del potencial de cambio de las cosas reales. Debemos buscar esa medida en otras partes. Si recorremos las ciencias fácticas en busca de una propiedad compartida por todas las cosas, independientemente de su clase y en relación con su mutabilidad, encontraremos sólo una: la energía. Además, la energía posee la propiedad de ser mayor cuanto más compleja es la cosa, por lo cual también es mayor su potencial de cambio. De hecho, la energía es estrictamente aditiva para las cosas que no interaccionan, esto es, cuando el espacio de estados total del compuesto es igual a la unión de los espacios de estados parciales (recuérdese la Sección 2.7 del Capítulo 3). Por consiguiente, estipulamos el

POSTULADO 5.3 Hay exactamente una propiedad poseída por todas las cosas, que es aditiva para agregados de cosas compuestos por partes separadas. O sea, si Θ es la clase de las cosas y F la de los marcos de referencia, existe una y sólo una función de variable real $\varepsilon\colon \Theta \times F \to \mathbb{R}$ tal que, para todo x e y de Θ tales que $x \lfloor y$,

$$\varepsilon(x \dotplus y, f) = \varepsilon(x, f) \dotplus \varepsilon(y, f) \quad \text{para todo} \quad f \in F.$$

Esta función ε se llama *energía* y su valor en $\langle x, f \rangle$ –vale decir, *la energía de x relativamente a f*– mide la *mutabilidad de x relativamente a f.*

[El de *energeia* era un concepto ontológico antes de ser absorbido y transformado por la física moderna. En ocasiones todavía se la considera una noción metafísica, aunque por razones incorrectas, a saber, porque no representa una propiedad perceptible. El concepto general de energía *es* una noción ontológica genuina por una razón diferente: porque designa una propiedad universal. Por ello, en las ciencias se presenta en todas partes, aun cuando en algunas áreas –especialmente en geografía e historia– sólo ha ingresado recientemente. En todo caso,

Para el concepto de «bulto» de una cosa véase la Definición 6.6 de la Sección 2.4, Capítulo 6. [N. del T.]

resulta agradable ver al concepto de energía de regreso en el redil filosófico, porque ahora comprendemos que la energía es una propiedad de las cosas y no hay riesgo de que sea reificada, mucho menos de que se la considere lo único existente tal como lo hicieron los energetistas de comienzos del siglo XX (por ejemplo, Ostwald, 1902)].

Se podría objetar que el Postulado 5.3 no es lo bastante preciso como para definir el concepto de energía. A esto, se podría responder que, primero, la ciencia no ofrece una definición del concepto general de energía. Segundo, para un físico, el Postulado 5.3 es suficiente para *identificar* ε como la función de energía, dado que es la única propiedad cuantitativa (y aproximadamente aditiva) que poseen todas las cosas. (En el caso de cosas cuyas partes interaccionan, la energía es ligeramente subaditiva). Todo lo que afirma nuestro axioma es que *todas las cosas poseen energía*. No proporciona un método para calcular la energía de ninguna cosa en particular: eso es tarea de la ciencia. Y ninguna ciencia puede llevar a cabo esta tarea sin algo de información (o de conjetura) precisa acerca de la clase de la cosa, su estructura, interacciones y circunstancias.

Es posible pensar que ciertas propiedades se presentan en una gradación infinita. Por ejemplo, si diera la casualidad de que el universo tuviera una extensión infinita, habría cosas que estarían infinitamente distantes unas de otras. En cambio, habitualmente se considera que la energía de una parte finita del universo es finita. (Es cierto, tanto en la física clásica como en la cuántica hay teorías que contienen teoremas –nunca axiomas– según los cuales ciertas cosas, tales como los electrones y las ondas electromagnéticas planas, poseen energías infinitas. Sin embargo, esas fórmulas se consideran imperfecciones de las teorías, no de la naturaleza, y se recurre a diversos trucos para evitarlas). En consecuencia, tenemos justificación para adoptar el

POSTULADO 5.4 La energía de una cosa compuesta por un número finito de cosas, y relativamente a un marco de referencia cualquiera, es finita.

Una consecuencia importante de la finitud de la energía (o potencial para el cambio) de toda cosa finita es que el ritmo y la amplitud de todo cambio están acotados. (Véase la Figura 5.10). Por ejemplo, la velocidad de un cuerpo no puede exceder cierto límite precisamente porque posee una cantidad finita de energía. Asimismo, los recursos limitados de energía de la biosfera –especialmente del suelo– imponen un límite a la población humana. (Para más ejemplos, véase Booij & Wolvekamp,

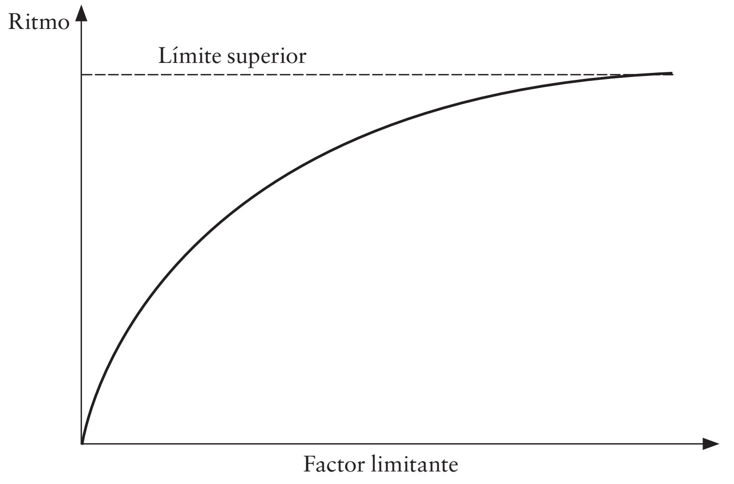


Figura 5.10. Ritmo de un proceso frente a intensidad (o concentración) de un «factor limitante», tal como la energía.

1944). Todos esos enunciados particulares acerca de los llamados «factores limitantes» pueden deducirse a partir de fórmulas referentes a la energía del sistema particular de interés. Las resumiremos en el

POSTULADO *5.5* La tasa y la amplitud de todo cambio en toda cosa compuesta por un número finito de cosas son acotadas.

(La restricción a cosas finitas se debe a la necesidad de no excluir la posibilidad de la incesante expansión del universo físico).

Una consecuencia inmediata del postulado anterior es que todo cambio tiene un final. Pero nos ocuparemos de este tema en la sección siguiente.

Antes de concluir esta sección, debemos advertir sobre un malentendido respecto de las propiedades universales. Con frecuencia se afirma que la información constituye una propiedad aún más universal que la energía. Sin embargo, no todas las cosas son sistemas de información: sólo son sistemas de información los que están compuestos por una fuente, un canal y un receptor de información, es decir, los sistemas capaces de generar, transmitir y recibir información. Segundo, lejos de ser una propiedad intrínseca (relativamente a todo marco de referencia), como la energía, la información es una propiedad mutua, en el sentido de que siempre es una cantidad de información transmitida por un transportador de información: si se modifica el canal (por ejemplo, si se reduce su ruido) la cantidad de información cambiará. Un rápido vistazo a los supuestos y definiciones básicos de la teoría estadística de la información (por ejemplo, Luce, 1960) bastará para confirmar nuestra opinión. Tercero, si bien puede haber intercambios de energía sin transmisión de información –por ejemplo, en las colisiones atómicas–, toda transmisión de información requiere de energía. El hecho de que la teoría de la información no preste atención a la base física del proceso de información y, por ende, a los intercambios de energía que subyacen a la transmisión de información, no elimina esa base. Regresaremos a este tema en la Sección 4.4.

3. Proceso

3.1. Cambio en serie: tipos

Hasta aquí hemos estudiado el cambio en general. En esta sección analizaremos una clase particular de cambio, la del cambio en serie o proceso. No todo conjunto de estados o sucesos constituye un proceso. Por ejemplo, una colección arbitraria de sucesos que tienen lugar en cosas diferentes y que están comparativamente aislados unos de otros no constituye un proceso, aun cuando esté ordenada en el tiempo. Para que un conjunto de sucesos constituya un proceso debe satisfacer dos condiciones:

(i) los sucesos deben involucrar o concernir sólo una cosa, independientemente de cuán compleja sea, y

(ii) los sucesos deben estar intrínsecamente ordenados.

En resumen, un proceso se puede visualizar como un árbol dirigido, en particular como una cadena, en un espacio de sucesos.

Antes de establecer los principios generales podemos echar mano de una reserva de ejemplos típicos. En este trabajo recurriremos a esos ejemplos en varias ocasiones, por lo que es mejor que los exhibamos de manera explícita.

(a) Cadena

La clase más simple de proceso es la cadena formada por un conjunto numerable de estados, o sucesos, de una cosa dada. En este caso particular, podemos formalizar la noción de proceso como una *secuencia*, vale decir, como una función definida sobre el conjunto $\mathbb{N}$ de los números naturales. Más precisamente, podemos establecer la

DEFINICIÓN 5.16 Sea $\mathbb{F}$ una función de estado y $S(x)$ el correspondiente espacio de estados, para una cosa x relativamente a cierto marco de referencia. Luego, x experimenta un *proceso en cadena* sii $\mathbb{F}: \mathbb{N} \rightarrow S(x)$, donde $\mathbb{N}$ es el conjunto de enteros no negativos. En este caso, el proceso es representado por

$$\pi(x) = \langle \mathbb{F}(n) | n \in \mathbb{N} \rangle,$$

donde $\mathbb{F}(n)$ es la enésima *fase* del proceso.

Un segmento finito de ese proceso es la restricción de la función de estado a un subconjunto finito de los números naturales. La *longitud* de esa cadena finita es, desde luego, el número de fases que hay en ella.

Ejemplo Una población de partículas inestables, organismos o cualquier otra cosa que comienza y luego deja la existencia, experimentará un proceso discontinuo en lo que al número de la población se refiere. Si la tasa de destrucción es equilibrada por la tasa de emergencia, prevalece un estado estable en el aspecto dado.

Los procesos discontinuos, si bien comunes y de gran importancia heurística, no son universales. Y aun cuando no tengan lugar, merece la pena intentar analizarlos más profundamente, en lugar de considerar los componentes *en bloc*, como hemos hecho antes. No es necesario hacerlo en las primeras etapas de una ciencia, por ejemplo en la teoría del aprendizaje en la actualidad, pero es un desiderátum. Por último, a causa de que los procesos discontinuos no agotan el género proceso, no tiene sentido preguntar por el número de sucesos que han ocurrido durante la historia del universo, ni siquiera durante el último segundo de su existencia.

(b) Proceso continuo

Una generalización obvia de la cadena numerable se obtiene reemplazando el conjunto de números naturales de la definición anterior por un conjunto dirigido arbitrario. Más precisamente, proponemos la

DEFINICIÓN 5.17 Sea $\mathbb{F}$ una función de estado y $S(x)$ su correspondiente espacio de estados para una cosa x relativamente a cierto marco de referencia. Luego, x experimenta un *cambio en serie* sii $\mathbb{F}: T \to S(x)$, donde T es un conjunto dirigido [vale decir, si $\mathbb{F}$ es una *red*]. En este caso, el proceso es representado por

$$\pi(x) = \langle \mathbb{F}(t) | t \in T \rangle.$$

Con frecuencia, los cambios en serie son continuos, es decir, no presentan brechas, como cuando una función de estado es un función continua de un parámetro como el tiempo. En consecuencia, necesitamos la

DEFINICIÓN 5.18 Sea $\pi(x) = \langle \mathbb{F}(t) | t \in T \rangle$ un cambio en serie en una cosa x. Luego, $\pi(x)$ es *continuo* en el intervalo $U \subseteq T$ si U es no numerable y $\mathbb{F}$ es una función continua en U. Y el proceso es *continuo de a intervalos* sobre T si T es igual a la unión de un número finito de conjuntos no numerables y $\mathbb{F}$ es continua sobre cada uno de ellos.

Ejemplo 1 Una reacción química reversible

$$A \underset{k_-}{\overset{k_+}{\rightleftharpoons}} B$$

en un reactor cerrado es descrita por las ecuaciones de flujo con coeficientes positivos

$$\frac{dA}{dt} = -k_+A + k_-B, \qquad \frac{dB}{dt} = k_+A - k_-B$$

sujetos a la condición de cierre o conservación $d(A + B)/dt = 0$. El espacio de estados de la cosa como totalidad es el plano $\mathbb{R}^+ \times \mathbb{R}^+$ y la evolución del sistema está representada por un arco de una curva continua en este plano. *Ejemplo 2* La trayectoria de una partícula que colisiona con otras partículas es quebrada pero continua, aun cuando la velocidad de la partícula cambia de manera abrupta con cada colisión. El caso más simple es aquel en el cual la partícula está inicialmente en reposo y gana una velocidad constante en $t = 0$, al ser empujada por otra partícula:

$$\dot{x}(t) = \begin{cases} 0 \text{ para } t < 0 & \therefore \quad x(t) = a = \text{constante.} \\ 1 \text{ para } t \geqslant 0 & \therefore \quad x(t) = a + t. \end{cases}$$

A veces se afirma que la continuidad es más básica que la discontinuidad y otras que la verdad es la inversa. No parece haber fundamento firme a favor de ninguna de estas hipótesis, por lo que no adoptaremos ninguna de ellas. Lo único que, al parecer, sabemos, es que *(a)* ambas hipótesis han sido estimulantes desde los puntos de vista ontológico y científico, *(b)* las hipótesis de continuidad son empíricamente irrefutables o casi irrefutables y *(c)* mientras que algunas propiedades (y, por ende, algunos procesos) son continuos, otros no lo son, por lo menos según la ciencia contemporánea. Por estas razones, en lugar de comprometernos con una de las dos hipótesis, propondremos el más fértil

PRINCIPIO (heurístico) 5.4 Inténtese resolver todo cambio discontinuo como un proceso continuo y búsquense discontinuidades en cada proceso aparentemente continuo.

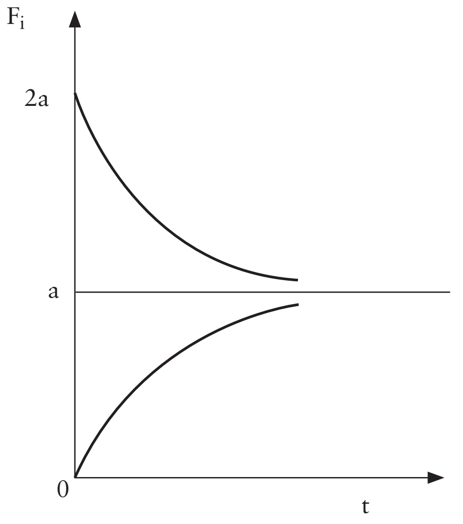
(c) Independencia de la trayectoria

En tanto que el resultado de algunos procesos depende de manera decisiva de la trayectoria precisa en el espacio de sucesos, otros son *independientes* (o casi independientes) *de la trayectoria*. Un caso particular de gran interés en todos los campos de investigación, desde la física hasta la sociología, es el de la equifinalidad o igual estado final. El concepto preciso es dilucidado por la

DEFINICIÓN 5.19 Dos cambios en serie son *equifinales* si sus estados finales son iguales.

Se ha afirmado que la equifinalidad demuestra la finalidad u orientación teleológica (hacia fines) de los procesos, ya que pareciera que el sistema en cuestión –un organismo, por ejemplo– luchara por conseguir cierta finalidad a través de todos los medios a su alcance. Sin embargo, la equifinalidad no es prueba de teleología, a menos que se pueda demostrar la existencia de un propósito. La razón de ello es que los procesos equifinales son comunes entre las cosas físicas. Por ejemplo, todos los sistemas termodinámicos cerrados tienden a un estado de equilibrio.

Ejemplo Sea el valor instantáneo de una propiedad F dado por una de la siguientes funciones sobre $\mathbb{R}^+$:



$F_1(t) = a(1+ e^{-kt})$
$F_2(t) = a$
$F_3(t) = a(1- e^{-kt})$
con a, $k \in R^+$.

Figura 5.11. Tres modos diferentes de alcanzar el mismo estado final o valor asintótico $X_\infty = a$: comenzando de a, aumentando hasta a o decreciendo hasta él.

(d) Memoria

Supongamos que el estado de una cosa depende no sólo de un parámetro t (la fase del proceso) sino también de un(os) estado(s) anterior(es). En este caso, se dice que la cosa posee *memoria* de algunos de sus estados pasados o que experimenta un proceso *hereditario*. En consecuencia, el estado elástico de un trozo de acero, el estado magnético de un imán y el estado génico de un organismo dependen, todos ellos, de sus historias previas. En cierto número de casos, esa independencia puede expresarse mediante una fórmula del tipo

$$\mathbb{F}(t) = \int_0^t \mathbb{F}(\tau - t) \cdot M(\tau).\ d\tau,$$

donde M es la función de memoria. (El proceso *carece de memoria* si $M = \delta$ o delta de Dirac).

El concepto general es aclarado por la

DEFINICIÓN 5.20 Sea $\mathbb{F}$ una función de estado y $S(x)$ el correspondiente espacio de estados para una cosa x relativamente a cierto marco de referencia. Además, llamemos $t \in T$ al parámetro de estados, donde T es un conjunto dirigido. Luego, x experimenta un *proceso hereditario* sii cada uno de sus estados $\mathbb{F}(t) \in S(x)$ es un funcional de algunos otros estados $\mathbb{F}(\tau)$ con $\tau < t$.

Hay dos especies importantes de procesos hereditarios: *(a)* uno en el cual la memoria se mantiene bastante intacta durante el proceso y *(b)* otro en el que la memoria se desvanece prácticamente hasta desaparecer después de un tiempo llamado *tiempo de relajación*. Los sistemas cuyos componentes interaccionan débilmente, tales como los gases no ionizados y los grandes imperios, tienen tiempos de relajación breves. En cambio, los organismos poseen largos tiempos de relajación genéticos y ontogenéticos. Por ejemplo, la desnutrición y la privación de relaciones sociales en los inicios de la vida de un mamífero son suficientes, cada una separadamente, para reducir gravemente sus aptitudes para la vida.

(e) Reversibilidad e irreversibilidad

Algunos procesos, en particular a nivel microfísico –y probablemente sólo a ese nivel– son reversibles; todos los macroprocesos conocidos son irreversibles. Esto se puede considerar una generalización de un teorema demostrado por la mecánica estadística. Se llama sistema *ergódico* a todo sistema que, finalmente, recorre la integridad de su espacio de estados o, con más precisión, si, estando libre de perturbaciones (aislado), ocupa sucesivamente todos los estados consistentes con su energía total.

Hasta 1913, la mayoría de los autores afirmaba que, puesto que las partículas individuales se mueven de modo reversible, toda colección de partículas debe poseer la propiedad de reversibilidad y, más aún, ser ergódica. Ese mismo año, A. Rosenthal y M. Plancherel demostraron de forma independiente que, si el sistema satisface las ecuaciones canónicas (Capítulo 3, Sección 2.6) no es ergódico. O sea, demostraron que en la mecánica clásica no hay sistemas ergódicos (o completamente reversibles). Por consiguiente, si el universo fuera un enorme agregado de partículas (algo que no es) no podría retroceder todos sus pasos. El eterno retorno no existe.

Finalmente, advertimos que en microfísica se supone que la mayoría, pero de ningún modo todos, los procesos son *estocásticamente reversibles*, en el sentido de que la probabilidad de un proceso elemental y la de su opuesto son la misma. Esto admite desviaciones momentáneas de la tendencia general, vale decir, para sucesos aislados en los cuales algunos estados se tornan superpoblados o despoblados. Sin embargo, ciertos microprocesos, notablemente la radiactividad y, en general, los procesos de transmutación, son irreversibles.

Todo lo anterior sugiere la

DEFINICIÓN 5.21 Sea $\pi(x) = \langle \mathbb{F}(t) | t \in T \rangle$ un proceso en serie en una cosa x. Además, sea $\bar{T}$ el mismo conjunto que T en dirección opuesta (por ejemplo, $\langle \mathbb{R}, > \rangle$ en lugar de $\langle \mathbb{R}, < \rangle$). Luego, $\pi(x)$ es *reversible* sii $\bar{\pi}(x) =$ $= \langle \mathbb{F}(t) | t \in \bar{T} \rangle$ es tan posible (vale decir, legal) como $\pi(x)$.

Si es posible asignar probabilidades tanto a $\bar{\pi}(x)$ como a su opuesto π(x), se puede pensar en definir el *grado de reversibilidad* de un proceso como la razón de su probabilidad sobre la de su opuesto o $r = \bar{p}/p$. Para un proceso completamente reversible, $r = 1$; para un proceso bastante reversible, $0 \ll r < 1$, para un proceso casi irreversible, $0 < r \ll 1$ y para un proceso completamente irreversible, $r = 0$. Este concepto podría ser de utilidad en diversos campos, especialmente en la mecánica estadística.

Es común declarar reversible un proceso, en el preciso caso en que sus leyes sean invariantes bajo una inversión temporal. Se trata de un error, porque el proceso depende de las circunstancias tanto como de las leyes. Por ejemplo, si bien las leyes básicas de la desintegración radiactiva (principalmente las de Schrödinger) son T-invariantes, las condiciones de contorno son tales que la probabilidad de que un fragmento de la desintegración reingrese en el núcleo desaparece.

Por último, adviértase que, mientras que todos los procesos reversibles son cíclicos, la inversa es falsa. En realidad, la mayoría de los ciclos no son reversibles, vale decir, no dejan las cosas tal cual estaban. Por ejemplo, los ciclos del agua y del nitrógeno de nuestro planeta no son reversibles, dado que ocurren acompañados de la degradación de la energía (aumento de la entropía).

(f) Procesos aleatorios

Un tipo notable de procesos en serie, que además reviste gran interés filosófico, es el de los procesos aleatorios. (Para una definición de aleatoriedad véase la Sección 6.4 del Capítulo 4). Un proceso aleatorio o estocástico es un proceso descrito por una función de estado que es una «variable» aleatoria, es decir, una función cada uno de cuyos valores posee una probabilidad o densidad de probabilidades definida. En el caso más simple, los valores s_i de la función de estado $\mathbb{F}$ forman una secuencia discreta $\langle s_i \mid i \in \mathbb{N} \rangle$, tal como los momentos de llegada de los clientes a un mostrador. En este caso, la función f tal que $f(s_i) = Pr(\mathbb{F}(t) = s_i) = p_i$, donde Pr es una medida de probabilidad y p_i la probabilidad de que x esté en el estado s_i, se llama *distribución de probabilidades* de $\mathbb{F}$. (Véase, por ejemplo, Feller, 1968, Capítulo IX).

Numerosas propiedades sustanciales, en todos los niveles, deben representarse mediante «variables» aleatorias. En consecuencia, es probable que todo proceso real –a diferencia de los modelos idealizados de ellos– tenga al menos un aspecto aleatorio. Por consiguiente, en lugar de definir el concepto de proceso real (como es habitual en la literatura sobre procesos estocásticos) preferiremos adoptar la

DEFINICIÓN 5.22 Sea $\mathbb{F} = \langle F_1, F_2, \ldots, F_n \rangle$ una función de estado para una cosa x que experimenta un cambio en serie $\pi(x) = \langle \mathbb{F}(t) | t \in T \rangle$. Diremos que este proceso es *aleatorio en el iésimo aspecto* si el componente F_i de $\mathbb{F}$ es una variable aleatoria.

(g) Estabilidad

Se dice que una cosa es estable si su punto representativo en el espacio de estados permanece confinado dentro de una región «pequeña». Más precisamente, podemos estipular la

DEFINICIÓN 5.23 Sea $G_{\mathbb{L}}(x)$ el conjunto de transformaciones legales del espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(x)$ de una cosa x. Luego, x es *estable en la región* $A \subset S_{\mathbb{L}}(x)$ si, para todo $s \in S_{\mathbb{L}}(x)$, $g(s) \in A$ para todo g de $G_{\mathbb{L}}(x)$.

En otras palabras, una cosa está en un estado de *equilibrio dinámico* si todos los cambios que experimenta la envían a un subconjunto fijo de su espacio de estados. Si este subconjunto se reduce a un punto, se dice que la cosa está en *equilibrio estático* en un estado $a \in S_{\mathbb{L}}(x)$ si a es un punto fijo respecto de toda transformación del espacio de estados en sí mismo, vale decir, si $g(a) = a$ para todo g de $G_{\mathbb{L}}(x)$. En resumen, al igual que los subconjuntos fijos del espacio de estados pueden representar un equilibrio dinámico, los puntos fijos representan estados de equilibrio estático.

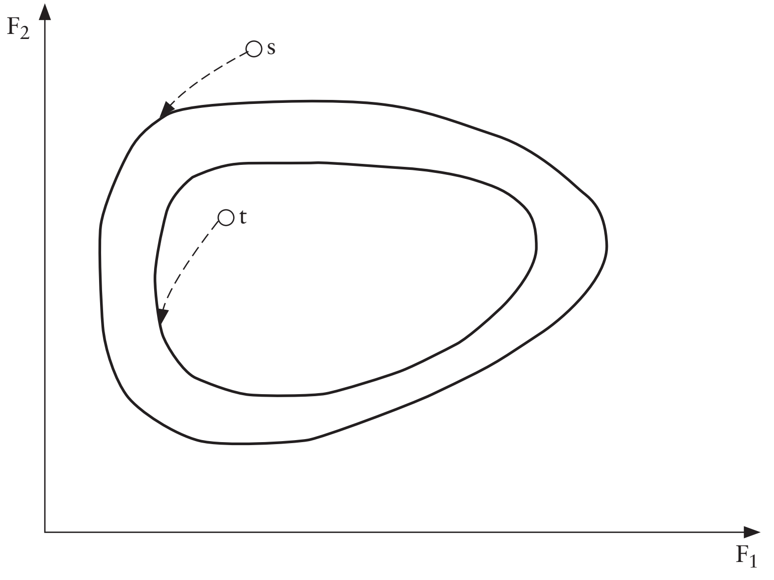


Figura 5.12. Los equilibrios ecológicos son dinámicos. Si una perturbación externa, tal como la agricultura o una sequía, envía el punto representativo a *s*, o a *t*, el punto, finalmente, se mueve en una órbita de equilibrio. (Véase, por ejemplo, Pielou, 1969).

Los estados de equilibrio estático sólo pueden ser temporales. En cambio, el equilibrio dinámico puede ser duradero. La Figura 5.12 exhibe los estados de equilibrio dinámico de un ecosistema compuesto por dos poblaciones que compiten entre sí. Cada curva representa un proceso cíclico, una oscilación en los números poblacionales. Cada punto localizado en una de las dos curvas cerradas representa un estado estable del sistema. Si las poblaciones se desplazan –por ejemplo, a causa de alguna alteración externa– a valores no muy alejados del equilibrio, tienden a regresar al punto de equilibrio de manera espontánea.

Hasta aquí los tipos especiales de proceso. Apresurémonos a advertir que, en nuestra opinión, ningún proceso real es de tipo puro. La razón de ello es que toda función de estado (realista) posee componentes de diversas clases, algunos discretos, otros continuos; algunos aleatorios, otros no aleatorios; y así sucesivamente. En otras palabras, llamemos

$$\pi k(x) = \langle F_k(t) | t \in T \rangle, \text{ con } 1 \leqslant k \leqslant n,$$

el $k$aésimo *componente* del proceso en serie, representado por $\pi(x) = \langle \mathbb{F}(t) | t \in \mathrm{T} \rangle$. Luego, $\pi(x)$ tendrá por lo menos un componente continuo, al menos un componente aleatorio y así sucesivamente. En pocas palabras, los tipos puros de procesos son tipos ideales: los procesos reales siempre son impuros. Dejaremos una formulación exacta para la siguiente subsección.

Primero nos ocuparemos de algunas generalidades que se pueden formular en términos bastante exactos.

3.2. Conceptos y principios generales

En la subsección anterior discutimos unas cuantas clases típicas de procesos. En ésta nos ocuparemos de los procesos en general, utilizando para ello algunos conocimientos obtenidos en el estudio de los procesos de tipos especiales. A partir de ese estudio, resulta manifiesto que un proceso se puede interpretar como una *secuencia de estados* o bien como una *secuencia de sucesos*. En el primer caso, podemos describir un proceso en una cosa x con la sola ayuda de una función de estado $\mathbb{F}$ para ello: nuestra tarea se reduce a seguir las andanzas del extremo de $\mathbb{F}$, tarea en gran medida facilitada mediante la parametrización de los estados $\mathbb{F}(t)$ relativamente a los estados de un marco adecuado. Si, en cambio, entendemos un proceso como una secuencia de sucesos, necesitamos, además de $\mathbb{F}$, todo el espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(x)$ abarcado por $\mathbb{F}$, así como la totalidad $G_{\mathbb{L}}(x)$ de las transformaciones legales del espacio de estados en sí mismo. Únicamente esto nos permite formar los sucesos individuales $\langle s, s', g \rangle$ y, acto seguido, todo el espacio de sucesos $E_{\mathbb{L}}(x)$.

Cada una de estas interpretaciones alternativas posee sus ventajas y desventajas. El enfoque de estados sucesivos es más simple desde el punto de vista matemático, aunque sólo sea porque el espacio de estados es n-dimensional, en tanto que el correspondiente espacio de sucesos es $2n$-dimensional. En cambio, si bien es más difícil de manejar, el enfoque de sucesos sucesivos es más perspicuo desde el punto de vista filosófico. Podemos utilizar cualquiera de estos enfoques de manera intercambiable y así lo haremos. En esta subsección discutiremos algunos principios generales en términos de sucesos, pero finalizaremos con la introducción de una noción de historia basada en el enfoque de estados sucesivos.

Primero, las nociones generales de proceso:

DEFINICIÓN 5.24 Sea $E_g(x)$ el espacio de sucesos de tipo g en la cosa x, para g en el conjunto $G_{\mathbb{L}}(x)$ de transformaciones legales del espacio de estados escogido para x, y sea $E(x)$ la unión de todos los $E_g(x)$, vale decir, el espacio de sucesos total de x [Definición 5.9]. Además, sea $\prec$ la relación de precedencia [Definición 5.10]. Luego,

(i) un *proceso de tipo* g en la cosa x es un conjunto parcial y estrictamente ordenado de sucesos de clase g:

$$\pi_g(x) = \langle E_g^*(x), \prec \rangle \quad \text{con} \quad E_g^*(x) \subseteq E_g(x) \subseteq E_{\mathbb{L}}(x);$$

(ii) un *proceso* en x es un conjunto parcial y estrictamente ordenado

$$\pi(x) = \langle E^*(x), \prec \rangle \quad \text{con} \quad E^*(x) = \bigcup_{g \in G_{\mathbb{L}}(x)} E_g^*(x).$$

Puesto que, de hecho, todo aspecto g está relacionado con algún otro aspecto, podemos conjeturar con seguridad que no hay procesos de un único tipo, sino sólo idealizaciones que escogen ora una ora otra característica de la cosa de interés. (Recuérdese el final de la última subsección). O sea, suponemos el

POSTULADO 5.6 Todo proceso real posee más de un aspecto.

Y de la legalidad supuesta de las transformaciones en $G_{\mathbb{L}}(x)$ se sigue que todo proceso que involucre una cosa dada satisface todas las leyes que ésta posee:

COROLARIO 5.9 Todo proceso es legal.

Adviértase que la legalidad se predica de los procesos, vale decir, de los conjuntos de sucesos intrínsecamente ordenados, no de los conjuntos arbitrarios de sucesos. Estos últimos, especialmente si tienen lugar en cosas diferentes o en cosas con componentes débilmente acoplados, no son necesariamente legales, aun cuando se supone que todo componente se comporta de manera legal. Éste es el fundamento ontológico de la regla metodológica empleada de manera tácita por los historiadores que procuran descubrir tendencias generales o hasta leyes históricas, a saber, centrarse en los procesos de una clase determinada que tienen lugar en sistemas sociales, en lugar de prestar atención sólo a las series temporales, que con seguridad serán erráticas o ilegales (véase Braudel, 1969).

Recordemos, sin embargo, que el caos no es lo mismo que la aleatoriedad: mientras que el primero es ilegal, la segunda posee leyes estocásticas (probabilísticas), tales como las de la mecánica cuántica y la genética. En consecuencia, adoptaremos un axioma que utiliza la Definición 5.22 de proceso aleatorio en algún aspecto:

POSTULADO 5.7 Todo proceso es aleatorio al menos en uno de sus aspectos.

A continuación distinguiremos dos importantes miembros de los procesos:

DEFINICIÓN 5.25 Sea $\pi(x) = \langle E^*(x), \prec \rangle$ un proceso en una cosa x. Luego,

(i) $\pi(x)$ *principia* en un suceso $b \in E^*(x)$ si b es una cota inferior del conjunto $E^*(x)$ [vale decir, si todos los restantes miembros de $E^*(x)$ siguen a b];

(ii) $\pi(x)$ *finaliza* en un suceso $e \in E^*(x)$ si e es una cota superior del conjunto $E^*(x)$ [es decir, si todos los demás miembros de $E^*(x)$ preceden a e].

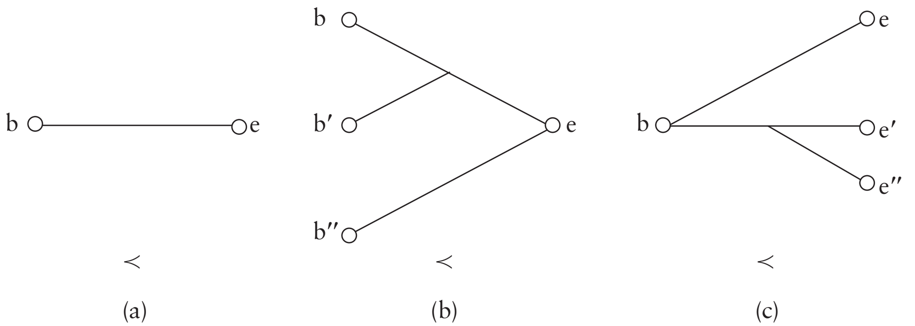


Figura 5.13. Tres clases de procesos, desde su principio hasta su final. *(a)* Proceso en cadena o lineal. *(b)* Proceso convergente. *(c)* Proceso divergente.

Es posible que un proceso no tenga un único principio o un único final: véase la Figura 5.13. En otras palabras, puede haber múltiples principios y múltiples finales. Supondremos que cada proceso es acotado tanto superior como inferiormente:

POSTULADO 5.8 Todo proceso tiene principio(s) y final(es). [Vale decir, si $\pi(x)$ es un proceso que tiene lugar en una cosa x, luego $\pi(x)$ posee al menos un principiante y al menos un punto de finalización].

Esta hipótesis no implica que haya principiantes absolutos (o sea, procesos que se inician de la nada) ni tampoco finales absolutos (vale decir, procesos que, al finalizar, no inicien algún otro proceso). En efecto, el postulado es compatible tanto con la cosmología creacionista y escatologista como con el supuesto de que todo proceso en una cosa dada, si bien acotado inferior y superiormente, está precedido y seguido por algún otro proceso, o bien en la misma cosa o bien en otras. Aquí adoptaremos la segunda hipótesis, ya que es la que recibe apoyo de la ciencia. Pero primero necesitamos la

DEFINICIÓN 5.26 Sean $\pi(x) = \langle E^*(x), \lessdot\rangle$ y $\pi'(x) = \langle E'^*(x), \lessdot\rangle$ dos procesos en una cosa x, tal que $E^*(x) \cap E'^*(x) = \varnothing$. Luego, $\pi(x)$ *precede* a $\pi'(x)$ si todo suceso del primero precede a todo suceso del segundo. En símbolos: $\pi(x) \prec \pi'(x)$.

Ahora sí estamos preparados para el

POSTULADO 5.9 Todo proceso está precedido y es seguido por otros procesos. Más precisamente, toda cosa x posee partes y y z, no necesariamente diferentes de x, cada una de ellas provista de su propio espacio de sucesos, tal que,

$$\pi(y) \prec \pi'(x) \prec \pi''(z).$$

Puesto que el universo [o mundo] es la agregación de todas las cosas, de ello se sigue el

COROLARIO 5.10 El mundo no tiene principio ni final.

Comentario 1 Como muchos otros axiomas de nuestra ontología, éste es una suerte de generalización de lo que sabemos. Un antiguo paradigma es, desde luego, el proceso de nacimiento-crecimiento-desintegración final que experimenta todo metazoo. Un paradigma más simple y moderno es el de los fotones emitidos por una estrella que viaja por el espacio interestelar y acaban siendo atrapados por una molécula o convirtiéndose en un par de electrones de cargas opuestas. *Comentario 2* En un momento dado, algunos cosmólogos que deseaban salvar la cosmología del estado estacionario propusieron la hipótesis ad hoc de

la creación espontánea de átomos de hidrógeno en el espacio vacío. Esta conjetura no fue aceptada porque contradice las leyes de conservación (Bunge, 1962) y, de todos modos, la teoría del estado estacionario que intentaba salvar fue finalmente refutada por las pruebas astronómicas.
Comentario 3 Los primeros en formular el Corolario 5.10 fueron los filósofos presocráticos y luego fue adoptado por Aristóteles. Parecería contradecir la hipótesis del «big bang» sobre el «origen» del universo que actualmente casi todo el mundo apoya. Sin embargo, esta conjetura cosmológica –que explica la expansión del universo– no es un ejemplo de creación *ex nihilo*, puesto que presupone que el universo ya existía –en un estado altamente condensado– antes de que se iniciara la expansión. Tampoco es ejemplo de aniquilación absoluta la vieja hipótesis de la «muerte térmica» (hoy ya prácticamente olvidada): todo lo que afirma es el final del movimiento macrofísico una vez que un sistema cerrado ha alcanzado el equilibrio térmico.

Hasta aquí llegamos con los conceptos y principios generales referentes a los procesos. A continuación adoptaremos el enfoque de estados sucesivos y propondremos otra noción clave que mostrará ser indispensable en lo que sigue: la de historia.

Recordemos que a los estados de una cosa x se les puede asignar coordenadas relativamente a los estados $t \in S(f)$ de un marco de referencia f, definiendo la función de estado como una aplicación de $S(f)$ en $S(x)$ e interpretando $S(f)$ como una cuadrícula cuadridimensional que conceptúa un marco de referencia físico (Sección 2.5). Cuando el estado de referencia t «se mueve», el extremo $\mathbb{F}(t)$ de la función de estado de la cosa hace lo propio. Esto sugiere la

DEFINICIÓN 5.27 Sea $\mathbb{F}$ una función de estado para una cosa x relativamente a un marco de referencia f con estados t de $S(f)$ y sea este último coordenado mediante cierta función k: $\mathbb{R}^4 \to S(f)$. Luego, la *historia de x relativamente* a f es el conjunto de pares ordenados

$$h(x) = \{\langle t, \mathbb{F}(t)\rangle | t \in S(f)\}.$$

Ésta es una dilucidación del concepto de línea de vida, línea de comportamiento o trayectoria. Se entiende la historia de una cosa como la sucesión de sus espacios de estados pero, en lugar de ser representada por una línea en el espacio de estados n-dimensional abarcado por $\mathbb{F}$, se representa como una curva en el espacio $(n + 4)$ dimensional $\mathbb{R}^4 \times S_{\mathbb{L}}(x)$. (La dimensionalidad de este espacio se puede reducir en 1 unidad si estamos interesados solamente en la coordenada temporal, vale decir, si se entiende t como un instante en lugar de como un punto en la región espaciotemporal adjunta al marco de referencia dado).

La definición anterior abarca las nociones de historia que más comúnmente se emplean en las ciencias. En particular, se integra bien a la noción de historia incluida en una de las teorías más fundamentales de la física, la mecánica cuántica. En efecto, en esta teoría el operador de evolución para una cosa se define del siguiente modo:

$$S(t_0, t) = \exp\left(-\frac{i}{\hbar}\int_{t_0}^{t} du H\right),$$

donde H es el hamiltoniano de la cosa. La historia de ésta es, entonces

$$h(x) = \{\langle t, S(t_0, t)\, \psi\,(t_0)\rangle | u \in [t_0, t]\ \&\ \psi \in \text{espacio de Hilbert de } x\}.$$

Este concepto amplio de historia puede consternar e incluso enfurecer a aquellos estudiosos de las humanidades que todavía consideran que el hombre es sobrenatural. Hasta cerca de mediados del siglo XIX se había supuesto tácitamente que toda la historia era historia humana. Por ello, Hegel, pese a todo su dinamismo, negaba que la naturaleza tuviese una historia. Esta opinión cambió con los revolucionarios descubrimientos en la geología y la biología, hasta el extremo de que Engels afirmara que cada ciencia era la historia de algo (Engels, 1878). Desde entonces, habitualmente se da por sentado que *todas las cosas tienen una historia*, vale decir, que para toda cosa x, $h(x)$ es mayor que un conjunto unitario.

Apliquemos ahora el concepto de historia a una caracterización de las nociones de acción e interacción.

4. Acción y reacción

4.1. Cambio inducido

Hasta aquí nos hemos ocupado del cambio independientemente de sus orígenes. Ahora bien, una cosa puede cambiar por sí misma o por influencia de otra cosa, es decir, de manera espontánea o por inducción. En consecuencia, debemos estudiar los conceptos de espontaneidad e inducción. Para hacerlo, nos serviremos del concepto de historia (Definición 5.27 de la Sección 3.2) y de la ley de Leibniz (Capítulo 2, Sección 3.2).

Se puede describir dos cosas de la misma clase mediante el mismo esquema funcional $\langle M, \mathbb{F} \rangle$ y, por consiguiente, del mismo espacio de estados aunque, desde luego, añadiendo las circunstancias individuadoras en cada caso. En otras palabras, los estados de cosas diferentes de la misma clase se pueden representar en un mismo espacio de estados. Además, no es necesario asignar una única cosa a un espacio de estados, sino que a todo espacio de estados es posible asignarle una clase de referencia constituida por una clase de equivalencia, más o menos numerosa, de cosas. Ahora bien, la ley de Leibniz (el Postulado 2.5 o el Corolario 2.1) afirma que cosas diferentes poseen propiedades diferentes. En consecuencia, aun cuando una función de estado dada describa dos cosas adecuadamente, éstas no pueden ocupar exactamente los mismos estados ya que, si lo hicieran, serían una. Por consiguiente, tenemos la siguiente reformulación de la ley de Leibniz:

COROLARIO 5.11 Las cosas diferentes tienen historias diferentes.

No cabe duda de que una cosa puede ocupar ahora exactamente el mismo lugar que otra cosa ocupaba hace un momento, pero dos cosas no pueden ocupar exactamente el mismo estado al mismo tiempo o, de modo más general, para el mismo valor del parámetro de cambio. (Véase la Figura 5.14).

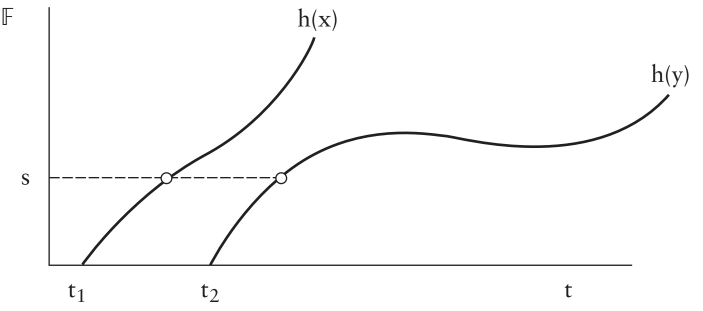


Figura 5.14. Cosas diferentes pueden ocupar el mismo estado, a condición de que lo hagan en instantes diferentes.

El Corolario 5.11 es nuestra versión actual del *principium individuationis* de Leibniz y suministra la pista de lo que estamos buscando. En efecto, si una cosa está sometida a la acción de otra cosa, su historia debe ser diferente de la historia en la que tal acción no tiene lugar. (Véase la Figura 5.15). (En esto consiste el experimento científico, a diferencia de la observación científica; vale decir, de la producción o el bloqueo deliberados de acciones o influencias para comparar ese comportamiento forzado de una cosa con su conducta libre de tal influencia y, en consecuencia, evaluar la importancia de la variable que se manipula).

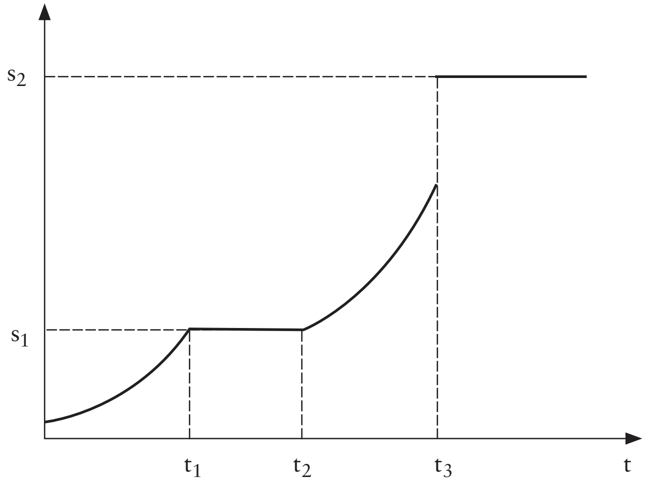


Figura 5.15. Ejemplo imaginario de una acción. Al actuar el agente durante el intervalo $[t_1, t_2]$ obliga al paciente a permanecer en el estado s_1. La acción externa se reanuda en el instante t_3, obligando al paciente a saltar al estado s_2.

En ausencia de toda acción del agente x sobre el paciente y, la historia de su suma física o yuxtaposición $x \dotplus y$ es igual a la unión de sus líneas de comportamiento individuales. En otras palabras, tenemos la

DEFINICIÓN 5.28 La cosa x cambia por sí misma o *espontáneamente* sii $h(x)$ no es un conjunto unitario y, para toda otra cosa y,

$$h(x \dotplus y) = h(x) \cup h(y).$$

Claramente, si una de las cosas actúa sobre la otra, entonces, mientras la línea de comportamiento del agente permanezca inalterada, es como si la del paciente se transformara en la historia de una cosa diferente, a saber, la de la cosa-actuada-por-el-agente. (Véase la Figura 5.16). Con mayor exactitud, estipularemos la

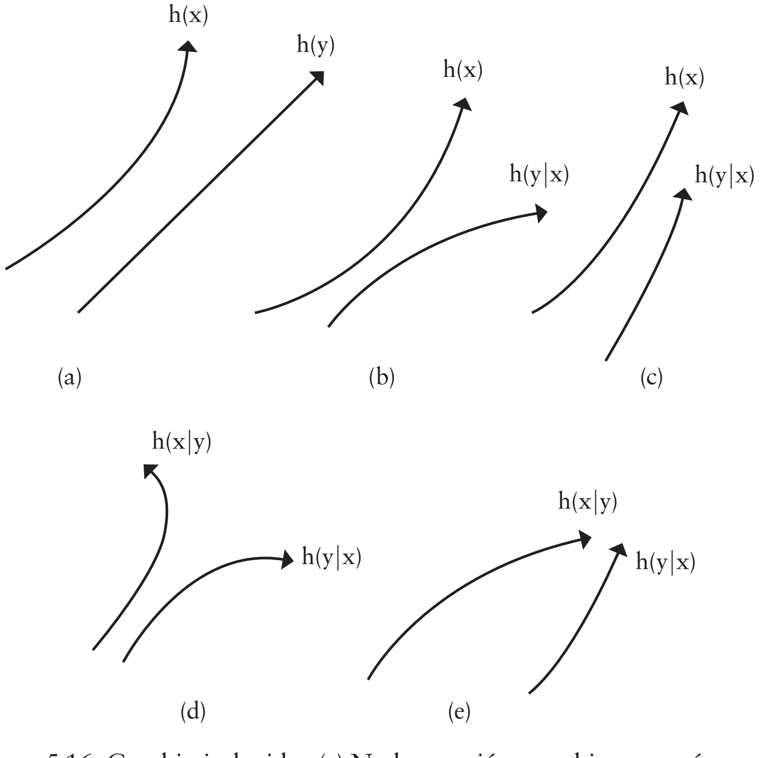


Figura 5.16. Cambio inducido. *(a)* No hay acción: cambio espontáneo tanto de x como de y. *(b)* Acción de empuje de x sobre y. *(c)* Acción de arrastre de x sobre y. *(d)* Interacción de empuje. *(e)* Interacción de arrastre.

DEFINICIÓN 5.29 Sean x e y dos cosas diferentes con funciones de estado $\mathbb{F}$ y $\mathbb{G}$ respectivamente, relativas a un marco de referencia común f y sean

$$h(x) = \{\langle t, \mathbb{F}(t)\rangle | t \in S(f)\}, \qquad h(y) = \{\langle t, \mathbb{G}(t)\rangle | t \in S(f)\},$$

sus respectivas historias. Además, sea $\mathbb{H} = g(\mathbb{F}, \mathbb{G}) \neq \mathbb{G}$ una tercera función de estado que depende tanto de $\mathbb{F}$ como de $\mathbb{G}$ y llamemos

$$h(y|x) = \{\langle t, \mathbb{H}(t)\rangle | t \in S(f)\}$$

a la historia correspondiente. Luego, *x actúa sobre y* o, de forma abreviada, $x \rhd y$ sii para alguna función de estado $\mathbb{H}$ que determina la trayectoria $h(y|x)$, $h(y|x) \neq h(y)$.

Ahora podemos reformular la Definición 5.28 de espontaneidad: una cosa *cambia espontáneamente* sii cambia y no hay ninguna otra cosa que actúe sobre ella. Y, a partir de la hipótesis de la Definición 5.29 (en particular, de que $x \neq y$), se sigue que *nada actúa sobre sí mismo*.

Ahora, la definición de acción recíproca o mutua es obvia:

DEFINICIÓN 5.30 Dos cosas diferentes x e y *interaccionan* sii cada una actúa sobre la otra. En símbolos:

$$x \rhd\!\!\lhd\, y =_{df} x \rhd y \;\&\; y \rhd x.$$

Los científicos experimentales suponen de manera tácita que *(a)* todas las cosas son investigables, *(b)* no hay cosas totalmente aisladas, vale decir, todas las cosas actúan sobre otra(s) cosa(s) o son influidas por otra(s) cosa(s), y *(c)* estas acciones son la base del conocimiento empírico. En efecto, si una supuesta cosa no actúa sobre ninguno de nuestros medios de observación, entonces no podemos observarla; y si esa cosa putativa no es influida por ninguno de nuestros medios experimentales, entonces no podemos experimentar con ella. En cualquiera de los dos casos, no nos preocuparemos por «ella». En pocas palabras, el axioma siguiente pertenece a la ontología inherente a la ciencia, por lo que lo adoptaremos:

POSTULADO 5.10 Toda cosa actúa sobre, y es influida por, otras cosas.

No se debe confundir este supuesto con la hipótesis más fuerte y falsa de que todo par de cosas interacciona ni, mucho menos, que lo hace con la misma intensidad. No reaccionamos sobre el sol cuando éste nos ilumina y mucho menos sobre una estrella extinta. En otras palabras, el principio de interacción universal, sugerido originalmente por los estoicos y tan favorecido durante el pináculo de la teoría de la gravedad de Newton, es falso.

Los efectos de una interacción pueden ser duraderos, aun en el caso de las microcosas. En consecuencia, si dos microcosas interaccionan durante un lapso de tiempo y luego dejan de hacerlo –por ejemplo, porque se separan significativamente en el espacio– seguirán estando correlacionadas. Por consiguiente, la observación de una de ellas aportará información sobre la otra, del mismo modo que la observación de una persona divorciada puede arrojar luz sobre la personalidad de su antigua pareja. En la jerga de la mecánica cuántica, se dice que esas cosas son *no-separables* o que exhiben una correlación EPR. (En esto, al parecer, consiste la paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen. Más en la Sección 4.2).

Necesitamos un concepto cualitativo de la medida de una acción o una interacción. Tal noción nos la proporciona la cantidad de la distorsión producida por el agente o los agentes sobre la línea de comportamiento del paciente. En otras palabras, estableceremos la

DEFINICIÓN 5.31 Sean x e y dos cosas y sean $h(x)$ la historia de x, y $h(x|y)$ la historia de x cuando y actúa sobre ésta y, de manera semejante, para x. Luego,

(i) la *acción o efecto total* de x sobre y es igual a la diferencia entre la trayectoria forzada y la trayectoria libre de y:

$$A(x, y) = h(y|x) \cap \overline{h(y)};$$

(ii) la *reacción total* de y sobre x es la diferencia entre la trayectoria libre y la trayectoria forzada de x;

$$A(y, x) = h(x|y) \cap \overline{h(x)};$$

(iii) la *interacción total* entre x e y es la unión de la acción y la reacción:

$$I(x, y) = A(x, y) \cup A(y, x).$$

Si $A(x, y) = \varnothing$ podemos decir que x ejerce una *acción nula* sobre y.

Puesto que la acción de x sobre y es un conjunto de sucesos en y, este conjunto no puede ser el mismo que el de la reacción de y sobre x, el cual es un conjunto de sucesos en x. En consecuencia, tenemos el

COROLARIO 5.12 Ninguna acción es igual a su reacción correspondiente. Vale decir que para toda cosa x e y, $A(x, y) \neq A(y, x)$.

Este resultado no es inconsistente con la tercera ley de la mecánica newtoniana de partículas. En efecto, esta ley no afirma que las acciones y reacciones sean iguales, sino que sus intensidades (las fuerzas o momentos de fuerza correspondientes) son iguales. En todo caso, la ley no es válida en otras teorías, tales como la electrodinámica.

Ahora bien, puede haber acciones en ciertos aspectos, pero no en otros. Vale decir, la acción de una cosa x sobre una cosa y puede afectar únicamente a algunos de los componentes de la función de estado de y. En consecuencia, analizaremos la acción total dividiéndola en acciones parciales del siguiente modo:

$$A(x, y) = \bigcup_{i=1}^{m} A_i(x, y),$$

donde m es el número de acciones mutuamente independientes que x ejerce sobre y. Algo parecido ocurre con la reacción de y sobre x, así como con su interacción.

Esta distinción nos permite complementar el Postulado 5.8 con el

POSTULADO 5.11 Todas las cosas cambian de manera espontánea en algunos aspectos y de manera inducida en otros.

Por último, el concepto de acción nos permite dilucidar la importante distinción que hicimos en la Sección 5.1 del Capítulo 2, entre una relación que afecta a sus relata y otra que no lo hace. (Véase la Figura 5.17). La diferencia queda expresada con precisión en la

DEFINICIÓN 5.32 Dos cosas diferentes están *vinculadas* (o *ligadas* o *acopladas*) entre sí si al menos una de ellas actúa sobre la otra. En símbolos: si x e y son cosas, luego

$$Bxy =_{df} x \rhd y \quad \text{o} \quad y \rhd x.$$

Adviértase que no incluimos la condición de que el vínculo sea de atracción. Dos enemigos están tan vinculados entre sí como dos amigos.

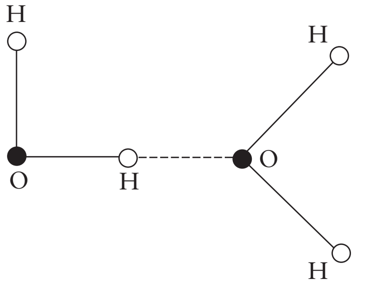


Figura 5.17 Tres relaciones diferentes entre dos moléculas de agua. *(a)* Los enlaces covalentes entre los componentes atómicos de cada molécula (línea continua); *(b)* el enlace de hidrógeno entre ambas moléculas (línea punteada); *(c)* la relación de estar a la izquierda (o su inversa). Tanto *(a)* como *(b)* son vínculos, ligaduras o acoplamientos, en tanto que *(c)* constituye una relación no vinculante.

La colección de vínculos entre los miembros de un conjunto arbitrario T de cosas merece un nombre especial:

DEFINICIÓN 5.33 La *vinculación* [*bondage*] de un conjunto T de cosas es el conjunto $\mathbb{B}_T$ de todos los vínculos entre los miembros de T.

En principio, $\mathbb{B}_T$ incluye acoplamientos de todas las n-aridades: diádicas, triádicas, etc. En la práctica, los vínculos diádicos o binarios son, con mucho, los más importantes. Si sólo se tienen en cuenta los vínculos binarios, la definición anterior se reduce a

$$\mathbb{B}_T = \{B_i \in \text{Relaciones binarias en } T | (\exists x)\ (\exists y) \\ (x, y \in T\ B_i xy \ \&\ 1 \leqslant i \leqslant m\}.$$

donde $m \geqslant 1$ es el número de clases de vínculos binarios [o de acciones] que hay entre los miembros de T.

Se recordará que hemos supuesto que hay un número finito de propiedades sustanciales generales (Postulado 2.3). En consecuencia, tenemos el

COROLARIO 5.13 La vinculación de un conjunto cualquiera de cosas es finita.

La clase de todas las relaciones no vinculantes (o «meras» relaciones) entre los T se designará mediante $\overline{\mathbb{B}}_T$. Y la unión de $\mathbb{B}_T$ y $\overline{\mathbb{B}}_T$ es igual, desde luego, al conjunto de todas las relaciones de T. Este concepto resultará decisivo en nuestro tratamiento del concepto de sistema concreto, en el Capítulo 7 del Volumen 4, y sugiere la

DEFINICIÓN 5.34 Sea T un conjunto de cosas y $[T]$ su agregación [suma física]. Luego, la *estructura* de $[T]$ es igual a la totalidad de las relaciones, tanto vinculantes como no vinculantes de T:

$$\mathscr{S}([T]) = \mathbb{B}_T \cup \overline{\mathbb{B}}_T.$$

Utilizaremos el concepto de vínculo para caracterizar los sistemas y los marcos de referencia.

4.2. Agregados y sistemas

A continuación emplearemos los conceptos de vínculo y de historia para aclarar la distinción entre una pila, montón o agregado, por un lado, y una totalidad o sistema, por otro. Ejemplos obvios de sistemas son los átomos y las moléculas. En cambio, los nucleones y los electrones que componen un átomo no son sistemas, ya que no tienen componentes separables. Otro ejemplo de algo que no es un sistema es un agregado formado por una cosa y un marco de referencia. Puesto que se supone que los marcos de referencia registran sin influir ni ser influidos por las cosas, la historia de un compuesto cosa-marco debe reflejar esa independencia. Cómo se hace esto lo veremos en la Sección 4.3, una vez que hayamos presentado de manera adecuada la noción de sistema.

Un análisis de las historias de los miembros de un conjunto de cosas debería ayudarnos a descubrir si la agregación del conjunto constituye un sistema o no, vale decir, si sus componentes están vinculados o no. En efecto, la historia de un agregado de cosas que no interaccionan entre sí está determinada únicamente por las historias de esos componentes: es sólo su unión. No es así en el caso de un sistema: aquí la historia de cada componente está determinada al menos en parte por los estados en los que están los demás componentes, de suerte que la historia de la totalidad no es igual a la suma de las historias individuales. Uno o dos ejemplos nos ayudarán a aclarar la idea.

Piénsese en las historias de una polilla y de una vela, antes y después de que la primera llegue, volando en círculos, hasta la segunda. Si se necesita un ejemplo más distinguido, piénsese en un sistema de dos electrones lo bastante cercanos entre sí como para interaccionar de manera apreciable, como en el caso de los de un átomo de helio. Este sistema es descrito por la ecuación de Schrödinger (clásicamente, por dos ecuaciones de movimiento acopladas) en conjunto con el principio de exclusión de Pauli. Este último selecciona aquellas funciones de estado que son impares (antisimétricas) en las coordenadas de los electrones. [O sea, la ley adicional es: $\psi(x, y) = - \psi(y, x)$, donde x e y son las coordenadas de posición de los electrones. De ello se sigue que $\psi(x, x) = 0$, es decir, que las dos entidades no pueden coexistir en el mismo punto, a menos que posean diferentes espines]. El principio de Pauli expresa una propiedad global o sistémica, propiedad que los componentes individuales no poseen y que, por ende, no puede representarse en los espacios de estados parciales. Por consiguiente, la construcción del espacio de estados del sistema debe realizarse de cero, en lugar de sobre la única base de los espacios de estados de los electrones individuales. [Afortunadamente, el principio de Pauli no es válido en todo el universo, sino únicamente para ciertas partes de él, a saber, los subsistemas formados por componentes de espín semientero. De lo contrario, en la realidad no habría sistemas lo bastante aislados. (Cf. Margenau, 1966)]. Lo que vale para los espacios de estados vale, con mayor razón, para las historias.

Resumiremos y generalizaremos los comentarios previos en la

DEFINICIÓN 5.35 Sea X una cosa compuesta por las partes X_i para $1 \leqslant i \leqslant n$. Luego, X es un *agregado* (o *conglomerado* o *pila*) si, en toda representación de X (vale decir, para toda elección de función de estado) su historia $h(X)$ es igual a la unión de las historias parciales $h(X_i)$. De lo contrario, x es un *sistema*.

La cautelosa frase 'en toda representación' que aparece en la convención anterior, se debe a lo siguiente. A menudo es posible elegir una representación de una cosa en la que las acciones mutuas de sus componentes están «absorbidas» en éstos. En otras palabras, con frecuencia se puede modelizar el sistema real como un agregado conceptual de componentes que no interaccionan. Pero este truco no funciona en todas las representaciones.

Si recordamos las Definiciones 5.31 de acción y 5.33 de vinculación, resulta el

COROLARIO 5.14 Sea X una cosa con una composición $\mathscr{C}(X)$. Luego, X es un *sistema* si la vinculación de $\mathscr{C}(X)$ no es vacía, es decir, si $\mathbb{B}_{\mathscr{C}(X)} \neq \varnothing$.

Ahora bien, el mundo o universo es la cosa que consta de todas las cosas (Postulado 3.3) y, por el Postulado 5.10, todas las cosas –y, por ende, todos los componentes del universo– están vinculadas a alguna otra cosa. De ahí el

COROLARIO 5.15 El mundo o universo es un sistema.

De la Definición 5.35 se sigue, a su vez, que la historia del mundo no es igual a la unión de las historias de sus partes.

¿Qué ocurre si un sistema se desintegra, por ejemplo si sus componentes estallan y dejan de interaccionar? Parecería que, cuando ocurre esto, la historia del agregado sí es igual a la unión de las historias de los antiguos componentes, los cuales ahora son libres unos de otros. Esto no es necesariamente así. De hecho, la famosa paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen de la mecánica cuántica se puede interpretar como sigue. Si dos cosas cuánticas interaccionan en un instante dado, más tarde siguen estando correlacionadas, aun cuando hayan dejado de interaccionar, en el sentido de que la historia de cada una es afectada por lo que le ocurre a la otra. (De modo equivalente, el vector de estado de la totalidad no es igual al producto directo de los vectores de estado de las partes). En consecuencia, la interacción en un instante dado es suficiente para inducir una correlación que se refleja en la no descomponibilidad del espacio de estados total y, con mayor razón, en la no separabilidad de las historia parciales. Si esta interpretación es correcta, podemos conservar las definiciones anteriores, pero debemos añadir un supuesto más: *una vez que se es un (micro)sistema, se es un (micro)sistema para siempre.* Sin embargo, esto todavía es debatible, por lo cual no lo incorporaremos en nuestro sistema.

4.3. El marco de referencia

Otra importante aplicación de la noción de agregado se relaciona con la caracterización del marco de referencia. Este concepto es de primordial importancia no sólo en física, sino también en nuestra ontología, porque en los casos reales los estados dependen de marcos de referencia. (El paradigma es, desde luego, el estado de movimiento de un cuerpo: su huella en el espacio de estados depende del marco. Tanto es así que el cuerpo no se moverá en absoluto relativamente a un marco de referencia rígidamente adosado a él).

Una condición para que una cosa pueda considerarse un marco de referencia para otra cosa es que las dos cosas no se influyan entre sí, de suerte que sus respectivos estados estén perfectamente separados. (Nos permitiremos un antropomorfismo y diremos que un marco de referencia debe ser un espectador imparcial). Otra condición es que los estados del marco de referencia de una cosa dada puedan utilizarse para parametrizar los estados de la cosa de interés, en el sentido de que, para todo estado t del marco de referencia, la cosa está en un estado dado $s = \mathbb{F}(t)$, donde $\mathbb{F}$ es la función de estado de n componentes para la cosa. (Véase la Figura 5.18). Estas dos condiciones –independencia y

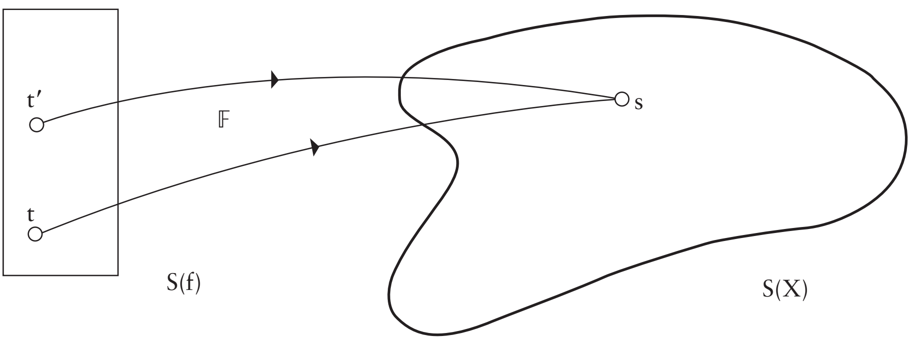


Figura 5.18. La aplicación $\mathbb{F}$: $S(f) \to S(X)$ de estados de referencia sobre estados de la cosa. No es necesario que $\mathbb{F}$ sea 1–1: dos estados de referencia diferentes pueden corresponder a un único estado de la cosa, como en el caso del movimiento periódico. Pero $\mathbb{F}$ debe ser sobreyectiva: cada estado de la cosa debe estar pareado con al menos un estado de referencia.

parametrizabilidad– se considerarán, conjuntamente, necesarias y suficientes para caracterizar el concepto general de marco de referencia. (Cada teoría científica puede definir su propio concepto específico de marco de referencia mediante el añadido de sus propias condiciones adicionales; habitualmente, ciertas leyes que deben satisfacerse relativamente al marco de referencia. Véase Bunge, 1967b). En resumidas cuentas, propondremos la

DEFINICIÓN 5.36 Sea X una cosa representada por un esquema funcional $X_m = \langle M, \mathbb{F}\rangle$ y sea f otra cosa con estados en $S(f)$. Luego, f es un *marco de referencia* para X sii

(i) $f \dotplus X$ es un agregado, de suerte que $h(f \dotplus X) = h(f) \cup h(X)$, y

(ii) el dominio de la función de estado de X es igual al espacio de estados de f, es decir, $\mathbb{F}: S(f) \to S(x)$, de donde $M = S(f)$.

Comentario 1 Hemos definido el marco de referencia como una cosa concreta de cierta clase. A causa de que es posible *representar* un marco de referencia mediante una región de coordenadas de una variedad, se ha difundido la errónea idea de que los marcos de referencia son idénticos a sus representantes conceptuales. Que se trata de un error se advierte al recordar que a todos los marcos de referencia se les asigna propiedades sustanciales, tales como velocidades, algo que resultaría imposible si se tratara de conceptos. *Comentario 2* No es necesario que un marco de referencia sea un cuerpo perfectamente rígido. La primera razón de ello es que en el mundo real los cuerpos rígidos no existen; la segunda es que un marco debe tener partes movibles si ha de funcionar como un reloj (natural o artificial). Un marco puede ser un campo (Dehnen, 1970).

El concepto de marco de referencia nos permite dilucidar la noción de que una cosa está en un estado dado relativamente a cierto marco de referencia. En realidad, podemos proponer la

DEFINICIÓN 5.37 Sea f un marco de referencia para la cosa X representada por el esquema funcional $X_m = \langle S(f), \mathbb{F}\rangle$. Luego,

(i) el *estado de X en $t \in S(f)$ relativamente a f* es

$$s = \mathbb{F}(t) = \langle F_i(t) | 1 \leqslant i \leqslant n\rangle;$$

(ii) el *espacio de estados de X relativamente a f* es

$$S(X) = \{s = \mathbb{F}(t) | t \in S(f)\} = \mathbb{F}(S(f)).$$

A causa de que hay un número ilimitado de marcos de referencia y que la elección del esquema funcional para representar una cosa es, en parte, convencional, es posible parametrizar los estados de modos diversos. Algunas de esas representaciones son equivalentes –como cuando los marcos son inerciales en cierto sentido– en tanto que otras no lo son. Esto no implica que los estados sean en realidad absolutos (independientes del marco) y que debamos culpar de la relatividad de los estados a nuestras limitaciones cognitivas. Excepto en el caso altamente artificial en el cual se supone que todos los componentes de una función de estado son invariantes respecto de todas las sustituciones de marco posibles, *los estados son*, *en sí mismos*, *relativos*. Esto basta para considerar con sospecha todas las teorías filosóficas que utilizan descripciones de estados absolutos, tales como «La cosa X está en el estado s» o, peor aún, «El estado del universo en un instante dado es tal y cual». (La metafísica de los mundos posibles y la lógica inductiva están repletas de tales curiosidades). Pero la relatividad no se debe confundir con la subjetividad: que todo estado de una cosa sea relativo a un marco de referencia no implica que sea el estado íntimo de un sujeto; a menos, por supuesto, que uno se las arregle para confundir los estados de la cosa con los estados del marco de referencia o estados de un estándar de referencia, así como los marcos con sujetos u observadores. (Para las críticas de estas confusiones, véase Bunge 1967b, 1973b).

Y hasta aquí llegamos con los tecnicismos. A continuación nos ocuparemos de unas pocas cuestiones de principio bastante poco técnicas, aunque importantes.

5. *Panta rhei*

5.1. Hecho

Ahora que disponemos de definiciones exactas de estado (Capítulo 3, Sección 2) y de cambio de estado o suceso (Sección 2), podemos comprender plenamente la Definición 4.3 de "hecho". Ahora podemos decir que *un hecho (real) es o bien el estar una cosa en un estado dado, o bien un suceso que tiene lugar en una cosa*. Vienen a la mente los siguientes comentarios.

Primero, esta definición de "hecho" también es válida para el caso de la transformación de una cosa (por ejemplo, una oruga) en otra (por ejemplo, una mariposa), a condición de que se interpreten ambas cosas como una única cosa en dos estados sucesivos de desarrollo. De hecho, tal como hemos sugerido en la Sección 1.2, todo lo que tenemos que hacer es simular que tratamos con una única cosa cuyo punto representativo se mueve ora en un espacio de estados (por ejemplo, el espacio de estados de la oruga), ora en otro (por ejemplo, el espacio de estados de la mariposa) y que los dos espacios de estados están correctamente ensamblados.

Segundo, los constructos –tales como los conceptos y las proposiciones– no cumplen los requisitos para ser hechos, ya que no son estados de cosas ni cambios de estados de cosas. En consecuencia, llamar *hecho* a una proposición fáctica verdadera constituye un error. A lo sumo, podría considerarse que la proposición es cierta clase de equivalencia de estados mentales; pero una clase es un concepto, no una cosa. Por consiguiente, identificarlas es incorrecto.

Tercero, nuestra interpretación de los hechos es objetiva. No definimos un hecho como «todo lo que puede ser observado», porque *(a)* la microfísica, la megafísica y la fisiología de la percepción nos enseñan que la mayoría de los hechos está fuera del alcance de la observación por el hombre (aunque no más allá de su comprensión) y *(b)* no todas las observaciones son fiables: algunas no se corresponden con ningún hecho externo, por lo que los informes sobre ellos, a menos que sean críticos, son falsos.

Cuarto, lo mismo vale, *mutatis mutandis*, para la definición semántica de "hecho" como «la clase de cosa que hace que una proposición sea verdadera o falsa» (Russell, 1918, en Marsh, ed., 1956, p. 183). Y esto es así por las siguientes razones: *(a)* a menos que se desee construir una ontología subjetivista –como en el caso de Russell (1914), Whitehead (1919), Carnap (1928) y Goodman (1951)– uno se abstendrá de definir conceptos ontológicos en términos semánticos, gnoseológicos o psicológicos; *(b)* la mayoría de las proposiciones fácticas son, en el mejor de los casos, parcialmente verdaderas, en lugar de totalmente verdaderas; *(c)* la definición semántica de "hecho" compromete a afirmar que hay hechos negativos (aquellos que verifican a los enunciados negativos) y hechos generales (aquellos que confirman a los enunciados generales). Evitaremos la extraña metafísica de los hechos negativos y generales si, a diferencia del primer Wittgenstein y del Russell del atomismo lógico, descartamos el supuesto de que las proposiciones y los hechos presentan una correspondencia 1–1. La correspondencia no puede ser tal, porque todos los hechos son «positivos» y singulares. (Recuérdese que un hecho es una cosa en un estado o bien el acontecimiento de un cambio de estado de una cosa). La no ocupación de un estado o el no acaecimiento de un suceso no son hechos. En consecuencia, el no haber sido vacunado contra la viruela no es un suceso y, por consiguiente, no puede considerarse una causa de viruela. Y puesto que no admitimos los sucesos negativos, evitamos hablar de «sucesos lógicos», tales como «*e* o no-*e*» y, por consiguiente, no necesitamos preocuparnos por sus causas. Consideramos que esta última es una ventaja distintiva sobre la teoría probabilística de la causalidad (Suppes, 1970), en la cual todo elemento de un espacio de probabilidades satisface los requisitos para ser considerado un suceso, y en la cual se supone que la relación causal se da entre sucesos posibles, aun entre sucesos negativos, en lugar de entre sucesos reales. En resumen, es falso que todo aquello que verifique o refute una proposición deba considerarse un hecho.

Quinto y último, los hechos, sean posibles o sean reales, son objetivos pero, a pesar de Wittgenstein (1922), no constituyen el mundo. El mundo no es la totalidad de los hechos, sino la totalidad de las cosas, es decir, de los individuos concretos provistos de todas sus propiedades, algunas de las cuales consisten en poder cambiar de modos legales definidos (aunque posiblemente aleatorios). Así es como entienden el término ‘mundo’ tanto la cosmología física como nuestra ontología. La interpretación de Wittgenstein exige descartar completamente las cosas –una situación embarazosa para la ciencia– o bien intentar definirlas en términos de hechos, una tentativa que ni siquiera se ha abordado. Más sobre esto en la Sección 6.

5.2. El dinamismo

El nuestro es un mundo de cosas, pero de cosas cambiantes, no de cosas quietas. En efecto, según el Postulado 5.11 de la Sección 4.1, todas las cosas poseen una historia no trivial. En otras palabras, *todas las cosas cambian*. Tal es nuestra versión del *panta rhei* heraclíteo. Adviértase que no nos estamos pronunciando, todavía, acerca de la hipótesis ontológica más fuerte de que todas las cosas cambian *incesantemente*: aún no disponemos de un concepto adecuado de tiempo. Para que el Postulado 5.11 sea verdadero es necesario y suficiente que todas las cosas cambien al menos una vez, esto es, que la historia de cada cosa conste por lo menos de dos estados o, lo que es equivalente, de un suceso.

Daremos por supuesto el cambio –no su concepto– en lugar de negarlo o justificarlo. Lo que sí necesita justificación en cada caso no es el cambio, sino todo supuesto o afirmación (dudosa) acerca de que una cosa determinada no cambia en algún aspecto. Y ofrecemos justificaciones de esta clase todo el tiempo, cuando decimos que ciertos cambios, aunque reales, son pequeños, o que no son más que movimiento relativo, etc. Además, explicamos la permanencia –en relación con ciertos aspectos– en términos de aislamiento (de diferentes tipos), de equilibrio de fuerzas o lo que fuere. La estática es un caso particular de la dinámica, la electrostática lo es de la electrodinámica y así sucesivamente. Las teorías más potentes y profundas de la ciencia contemporánea son teorías del cambio, no teorías del ser: la permanencia es un caso particular, excepcional, del cambio. Negar que todas las cosas cambiantes, negar que el cambio universal es objetivo –tal como han hecho Weyl (1949), Costa de Beauregard (1963) y Grünbaum (1967)– es un ejercicio de sofistería.

La concepción dinamista, inherente a la ciencia contemporánea y adoptada por nuestra ontología, contrasta no sólo con el estatismo parmenídeo, sino también con la hipótesis aristotélica y tomista de que el reposo, en lugar del movimiento, es el estado «natural» de las cosas. Nuestra versión del dinamismo va un paso más allá de la de Demócrito, para quien los átomos no estaban sometidos al cambio. La física, tanto de alta energía como de baja energía, sugiere que ni siquiera los componentes «últimos» de las cosas –las «partículas elementales» y los campos– están quietos. No existe la materia inerte, esas cosas perpetuamente inmutables que únicamente pueden ser alteradas por influencias externas y que, de lo contrario, son pasivas. Tal como observó Bolzano, esas influencias externas y los movimientos relativos resultantes no podrían explicarse «si no se produjeran cambios en el interior de las propias sustancias simples»; de ahí que a todas las sustancias –sean complejas, sean simples– se les deba atribuir «la capacidad para el cambio mediante la influencia mutua» (Bolzano, 1851, §§ 50, 51). El «eje inmutable» ensalzado por algunos poetas y filósofos no es una cosa ni un conjunto de cosas, sino el conjunto de leyes objetivas básicas.

Nuestra concepción es decididamente dinamista, pero no excesivamente dinamista: suponemos que todas las cosas cambian en alguno de sus aspectos, pero nos abstenemos de afirmar que cambian en todos sus aspectos y, mucho menos, que lo hacen de manera incesante. No parece que la ciencia apoye semejante exageración: la ciencia muestra que algunas características permanecen invariantes durante ciertos cambios. (Las constantes de movimiento de un sistema físico se cuentan entre esas invariantes). Además, el cambio en algunos aspectos es posible únicamente a causa de la permanencia en otros. (Así pues, los procesos vitales son imposibles, a menos que se mantenga la homeostasis). Asimismo, todo lo permanente lo es relativamente (con respecto) a un conjunto específico (grupoide, semigrupo o grupo) de transformaciones. En consecuencia, las invariantes de una de esas estructuras pueden no ser las mismas que las de otro conjunto de transformaciones.

Lo que vale para todas las cosas simples –es decir, que son mudables– vale también para la cosa compuesta por todas las cosas, o sea el universo. Es decir, el mundo como totalidad está en flujo, aunque no como un sistema simple y altamente integrado o cosmos. El flujo universal consiste en un gigantesco haz de procesos, algunos de los cuales se entrelazan (se influyen de manera mutua) en tanto que, probablemente, la mayoría no lo hace. De ahí que sea un error hablar de la «serie mundial de sucesos», como si fuera algo así como una descomunal serie mundial de béisbol. A fortiori, es incorrecto afirmar o negar que tal serie posee un principio o un final. Sencillamente no *existe* tal serie mundial de sucesos. Dado que la relación de precedencia entre sucesos es local (dependiente de un marco de referencia), la totalidad de los sucesos no tiene un orden general. Todo lo que podemos afirmar –y, de hecho, hemos afirmado en el Postulado 5.9– es que todo proceso particular es precedido y sucedido por otros procesos. En consecuencia, aunque el mundo como totalidad no participa en una carrera de relevos, cada trozo de él sí participa en alguna carrera de relevos local.

5.3. Interconexión

El Postulado 5.10 de la Sección 4.1 afirma que todas las cosas influyen o son influidas por algunas otras cosas. En otras palabras, nada –excepto el universo como totalidad– está completamente aislado. Si ello es así, el mundo es una totalidad interconectada, vale decir, un sistema, en lugar de un agregado. (Recuérdese la Definición 3.12 de la Sección 2.7 del Capítulo 3). Sin embargo, no se trata de un sistema estrechamente conexo.

La hipótesis de que el mundo es un sistema es más débil, pero presuntamente más cercana a la verdad, que la cosmología organicista de Platón, los estoicos o Hegel, según la cual todas las cosas están vinculadas a todas las demás, de suerte que el universo como totalidad es un «todo orgánico». Si esta hipótesis fuese verdadera, resultaría imposible estudiar una cosa particular cualquiera sin conocer, previamente, todas las demás; y sería igualmente imposible actuar sobre una cosa particular cualquiera sin alterar el universo en su totalidad.

Tanto la ciencia contemporánea como nuestra ontología se decantan por un punto medio entre los extremos del organicismo («Todas las cosas van juntas y forman un bloque sólido») y el atomismo («Todas las cosas van cada una por su cuenta»). Ninguna parte del universo está aislada (ninguna carece completamente de vínculos), pero todas las cosas están aisladas en algún aspecto respecto de las demás cosas. Esta *interconexión parcial* de las partes del mundo hace posible su investigación, puesto que el estudio de cada cosa es parcial y se funda en la posibilidad de establecer contacto con la cosa.

Además, el Postulado 5.10 proporciona el criterio de existencia normalmente utilizado por la ciencia: *todo lo que existe (real, físicamente) es influido por otras cosas o influye en otras cosas*. Lo repetimos:

CRITERIO 5.1 Para todo objeto x diferente del mundo, x existe realmente si existe una cosa y, diferente de x, tal que y actúe sobre x o x actúe sobre y.

Si la cosa y que actúa sobre la supuesta cosa x, o es influida por ella, es controlable por un observador, luego x puede someterse a la investigación experimental. Esta posibilidad de control real es suficiente, no necesaria, para conjeturar la existencia de una cosa.

En resumidas cuentas, nuestra ontología incluye la tesis de la interconexión limitada o parcial de todas las partes del universo.

5.4. Tres ideas erróneas

Hemos definido el cambio con referencia a los objetos concretos o cosas. Toda colección de sucesos es un conjunto de cambios de una cosa. No nos ha sido necesaria la ficción de que hay cambios que no son modificaciones de los estados de una cosa. Quienquiera que afirme que tales cambios existen debe ofrecer las pruebas empíricas pertinentes y proceder a construir una teoría de esos cambios carentes de cosas (o inmateriales).

No obstante, cada tanto, nos encontramos con filósofos y hasta científicos que sostienen que sí existen esos cambios que no lo son de cosas. Examinemos brevemente tres de estos casos. Uno de ellos es el proceso de información, que en ocasiones no se considera basado en el transporte de materia o la propagación de campos. La razón de esta concepción errónea es que la teoría estadística de la información es una teoría de caja negra, o fenomenológica, de modo tal que no presta atención a la clase exacta de señal que transporta la información, al mecanismo de transmisión ni a la(s) clase(s) y cantidad de la energía involucrada. Por este motivo, la teoría de la información no es una teoría física: se trata, en cambio, de una teoría que cumple los requisitos de una teoría de metafísica científica, ya que se ocupa de un modo extremadamente general de un género de cosas concretas. Pero, desde luego, la información es una propiedad de ciertos procesos físicos (o químicos, o biológicos), es decir, de las señales, que son procesos de algún tipo. Sin señal no hay transmisión de información. Y las señales, permítasenos repetirlo, son cadenas de sucesos que tienen lugar en cosas concretas: la transmisión de la información consiste en sucesos que se propagan a través del espacio y transportan energía. Si se eliminan esos procesos reales, sólo quedan las anécdotas parapsicológicas.

Otro supuesto ejemplo de cambio real, pero no físico, es el de la tesis del paralelismo psicofísico, según la cual los sucesos psíquicos o mentales («conductuales») no deben interpretarse como cambios que acaecen en el sistema nervioso del animal de interés. Si se trata de una cuestión metodológica, puede haber sido seria en los inicios de la psicología experimental. Pero en la actualidad se ha tornado nociva, porque obstaculiza la investigación en psicología fisiológica y resulta absurda si se la considera desde el punto de vista metafísico, vale decir, como si reafirmara el apolillado dogma de que por sobre la materia está el alma. No hay evidencia alguna en favor de la ideación sin cerebro, en tanto que sí hay pruebas decisivas acerca de que todo suceso mental es un suceso cerebral de algún animal. Aplazaremos un estudio detallado de este tema hasta el Capítulo 10 del Volumen 4.

Un tercer punto de incidencia del inmaterialismo es la teoría de la medición de la mecánica cuántica estándar (von Neumann, 1932). Según ésta, la diferencia más notable entre la física cuántica y la física clásica es que, mientras que esta última trata los procesos de medición como procesos puramente físicos, la primera considera que no lo son, a causa de la intervención de la mente del observador y sus decisiones. Tanto es así, se argumenta, que únicamente los procesos naturales obedecen la ecuación de Schrödinger (pero entonces son inobservables), en tanto que los procesos de medición obedecen una teoría aparte, centrada en un postulado diferente, el postulado de proyección. Esta interpretación no es aceptada por los seguidores ortodoxos de Bohr, para quienes *todos* los sucesos cuánticos (que ellos llaman «fenómenos») y no únicamente aquellos controlados por dispositivos de medición, suponen actos de observación. Según esta concepción alternativa, no habría microsucesos («fenómenos cuánticos») espontáneos (no provocados ni observados). Desde luego, los realistas rechazan la tesis de Bohr, así como la de von Neumann (Bunge, 1973b). Un argumento a favor de la posición realista es que, si bien es verdad que todo proceso de medición es diseñado, ejecutado e interpretado por una persona (finalmente, con ayuda de dispositivos automáticos), se trata de un proceso estrictamente físico, en lo que respecta a la cosa que mide y a la cosa medida. Tanto es así que *(a)* algunos procesos de medición se pueden automatizar por completo y *(b)* ninguna de las teorías de la medición disponibles incluye siquiera una variable mental. Pero aunque fuera necesario tener en cuenta el sistema más amplio que incluye al observador y su equipo, esto no haría que la medición dejase de ser un proceso físico, a menos, por supuesto, que se conciba la mente como una sustancia inmaterial, en el estilo de Aristóteles y el Descartes público (pero no el secreto). Pero la física moderna no necesita aliarse con una metafísica obsoleta.

6. Comentarios finales

En la metafísica tradicional hay una polaridad básica entre ser y devenir: el suceso opuesto a la cosa, el proceso a la materia, el cambio a la estructura. Esta oposición no tiene sentido en nuestro sistema, en el cual todo cambio es la transformación de una cosa en otra y toda cosa está en flujo. Esta concepción, incompatible con gran parte de la metafísica tradicional, es congruente con la ciencia, la cual no proporciona fundamento alguno para hipotetizar la existencia de sucesos que no lo sean de cosas, ni tampoco de cosas inmutables. No cabe duda de que las fórmulas de la ciencia teórica no siempre contienen las variables que representan la cosa de manera explícita, pero el contexto –lo que en ocasiones se llama «la prosa que identifica las variables»– deja claro, habitualmente, que las fórmulas se refieren a cosas de alguna clase. La descripción precisa de todo suceso requiere de la mención de la cosa o las cosas que experimentan el cambio en cuestión. Esta es la razón de que toda axiomatización correcta de una teoría científica comience haciendo supuestos acerca de las clases de cosas a las cuales se refiere la teoría y acabe caracterizando los sucesos como cambios en algunas de las propiedades de esos referentes. (Véase, por ejemplo, Bunge, 1967b, 1973b). El procedimiento opuesto, es decir, comenzar con los sucesos y acabar definiendo las cosas, ha sido sugerido como programa (por ejemplo, por Russell, 1914, y Whitehead, 1929), pero nunca se ha llevado a cabo realmente. Echémosle un vistazo.

Algunos filósofos procesualistas –ansiosos por hacer leña del caído árbol de la ontología parmenídea– han llegado al extremo de postular que el ser de una cosa consiste en su devenir, que «el mundo real es un proceso» (Whitehead, 1929, pp. 29 y pássim). Asimismo, el físico Fokker caracterizó la realidad como una corriente de sucesos (Fokker, 1965, p. 1). Otros cuantos físicos han reinventado esta idea y hasta han negado la existencia de las cosas (Bohm, 1970; Finkelstein, 1973; Stapp, 1976). Esta idea, que los sucesos y procesos son de lo que está hecho el universo, ha sido alentada por la engañosa terminología propuesta por algunos investigadores de la física relativista, quienes llaman *suceso* a un punto cualquiera del espaciotiempo, sea que este punto esté ocupado por una cosa o que no. Además, llaman *mundo* al conjunto de esos «sucesos», aun en el caso de un mundo vacío. De este modo, el mundo es considerado un conjunto de sucesos y se pierden de vista las cosas que cambian.

En realidad, no es el universo sino solamente una *línea de universo* o historia –la región del espaciotiempo recorrida por una cosa– la que cumple los requisitos de una secuencia de sucesos o proceso. (Véase la

Figura 5.19). Lo que sí se puede afirmar es que toda región espaciotemporal es el asiento de sucesos *posibles* que tienen lugar en cosas (partículas, campos, etc.) que podrían existir en el interior de esa región. Pero esto dista de identificar un suceso con una cuaterna de números reales.

En todo caso, no es necesario que gastemos más tiempo en la extraña versión de la metafísica de procesos que descarta el concepto de cosa, porque es lógicamente insostenible. En efecto, definir *cosa* como una colección de sucesos que tienen lugar en una *cosa* es circular. Éste es el motivo por el cual nuestro estudio del cambio está precedido de un examen del concepto de cosa.

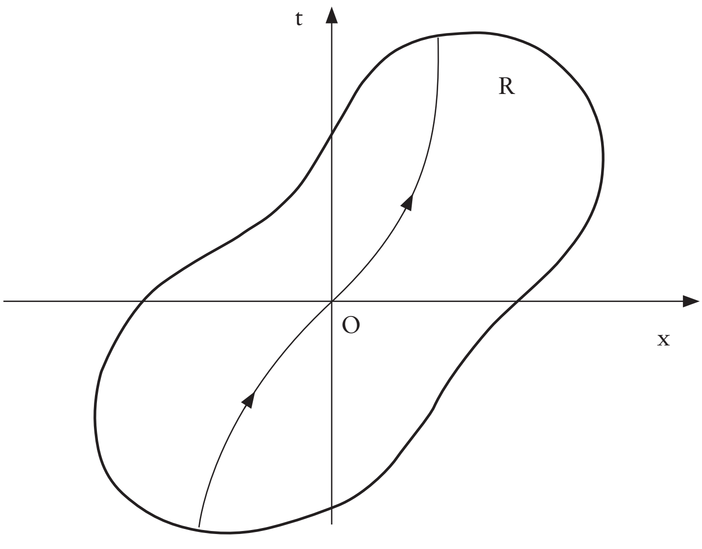


Figura 5.19. La huella espaciotemporal de una partícula puntual (o línea de universo de la misma) es un proceso en el espaciotiempo. A menos que realmente haya otras cosas en la región espaciotemporal *R*, todos los puntos diferentes de aquellos que constituyen la línea de universo de la partícula no suceden y, por consiguiente, no merecen ser llamados 'sucesos'.

El complemento de la metafísica de procesos es, por supuesto, la metafísica del ser. Una versión de ella es el estructuralismo, actualmente en boga en Francia (cf. Lévi-Strauss, 1958). Del mismo modo que la metafísica tradicional oponía el ser al devenir, el estructuralismo tiende a oponer la estructura al cambio y a divorciar la primera de las cosas.

Del mismo modo que el dinamista extremo habla de sucesos sin cosas, los estructuralistas hablan de estructuras en sí y concentran su atención en la permanencia estructural en medio del flujo. Esto también es incorrecto: salvo en la matemática pura, en la cual hay estructuras en sí –por ejemplo, las álgebras de Boole– toda estructura es la estructura *de* una cosa (compleja): átomo, molécula, célula, órgano, organismo, comunidad, ecosistema o lo que fuere. (Recuérdese la Definición 5.34 de la estructura de una agregación de cosas). No decimos que cierto objeto físico *es* un grupo de rotaciones, sino que cierta propiedad de él (por ejemplo, la energía) posee simetría de rotación o es invariante respecto de las rotaciones (los miembros del grupo de rotaciones). Asimismo, no decimos que una comunidad *es* una estructura social, sino que *posee* tal estructura. Además, dada la mutabilidad de todas las cosas, resulta improbable que haya algo que tenga una estructura permanente. En resumen, la estructura es una propiedad y es mudable.

En conclusión, ni el procesualismo ni el estructuralismo son alternativas viables a nuestra metafísica de cosas cambiantes. El devenir no es flujo puro, sino que consta de cosas en estados sucesivos o de cosas sucesivas. (Recuérdese la *Física* de Aristóteles, Libro III, Capítulo 1, Sección 1: «no existe el movimiento separado de las cosas»). Y las estructuras no son sólo inconstantes, sino que también carecen de existencia independiente: son estructuras de ciertas cosas, características de objetos concretos. En resumidas cuentas, el cambio y la estructura son rasgos distintos, pero entrelazados, de las cosas cambiantes provistas de alguna estructura. En consecuencia, los tradicionales polos metafísicos, a saber, la metafísica de procesos y la metafísica del ser, contienen cada uno una pizca de verdad y ambos son superados por nuestra ontología.

Hemos llegado al final de nuestra investigación del cambio en general. Hemos formado los principales ladrillos para la construcción de los conceptos de tiempo y espacio. Una vez que estos estén a nuestra disposición, podremos ofrecer un análisis más detallado del cambio, en particular del cambio cualitativo, del que nos ocuparemos en el Capítulo 8 del Volumen 4. Procederemos, entonces, al estudio de la extensión y la duración.

Capítulo 6

El espaciotiempo

La ciencia da por sentados el espacio y el tiempo. Aunque no toda teoría científica hace supuestos detallados sobre el espacio y el tiempo, por lo general se considera que constituyen un marco con existencia independiente que permite situar las cosas y fechar los sucesos. Tanto es así que se dice que los hechos son u ocurren *en* el espacio y el tiempo, aun cuando no importen las características espaciotemporales precisas. En la ciencia, el espacio y el tiempo se dan por sentado en tal medida que la mayoría de las descripciones de las cosas se efectúan en términos de espacio o tiempo, vale decir, las coordenadas espacial y temporal se utilizan como variables independientes. Además, habitualmente se considera que el espacio y el tiempo son externos a las cosas y sus cambios: se interpreta que constituyen un escenario fijo.

Es cierto, en la teoría relativista de la gravedad, las cosas influyen la estructura espaciotemporal: distorsionan su métrica, de ahí su curvatura intrínseca. Pero no crean la variedad básica. (En efecto, si asignamos el valor cero al tensor de materia de las ecuaciones del campo gravitatorio, se obtienen ecuaciones que describen un espacio riemanniano). En otras palabras, hasta la teoría general de la relatividad es consistente con –si bien no necesita– una teoría modificada del espaciotiempo absoluto, es decir, una teoría según la cual el espaciotiempo posee una existencia independiente, en lugar de ser una red de relaciones entre los hechos. (La corrección que requiere la relatividad general es la siguiente: la métrica no es a priori o puramente geométrica, sino que depende de la distribución momentánea de materia y campos. Por ende, el espaciotiempo es homogéneo sólo en el caso de que la distribución sea ella misma homogénea, vale decir, en realidad nunca). En resumen, la ciencia nos dice cuál es la estructura del espaciotiempo, pero no qué es el espaciotiempo.

Este procedimiento, si bien legítimo en la ciencia, resulta insatisfactorio en filosofía. Aquí no podemos dar el espacio y el tiempo por supuestos, porque la filosofía no da por sentado nada, excepto la existencia de la totalidad del universo. En la filosofía, debemos preguntar «¿Qué son el espacio y el tiempo?»: debemos intentar comprender cómo se producen, cuáles son sus raíces en las cosas y los sucesos. Porque, en ausencia de las cosas, no habría relaciones espaciales. En efecto, son necesarias al menos dos cosas para darle sentido a 'aquí', 'allí', 'a la izquierda' y otras expresiones afines. Y son necesarios al menos dos estados diferentes de una cosa para darle sentido a 'antes', 'después', 'mientras' y otras expresiones emparentadas.

En consecuencia, en lugar de suponer que el espacio y el tiempo son absolutos (autónomos, existentes por sí mismos) o siquiera moderadamente absolutos (influidos, pero no creados por el moblaje del mundo), debemos intentar construirlos a partir de los hechos. Los filósofos no se interesan por la pregunta empírica «¿Dónde y cuándo sucedió x?» En su lugar, les interesa la pregunta «¿Los hechos dan lugar al espacio y al tiempo, y si es así, cómo?» Les corresponde a ellos caracterizar la estructura gruesa –algebraica y topológica– del espacio y el tiempo y, si es posible, en términos de ítems fácticos. Una vez que se ha completado esta tarea, el filósofo debe hacerse a un lado y dejar al científico la investigación de la estructura fina –en particular, de la métrica– del espaciotiempo. Sería presuntuoso de su parte legislar que el espaciotiempo es –o no es– euclídeo: es algo que deben investigar los científicos. El filósofo no intentará competir con el científico a menos que su intención sea ser vencido por él.

Desde el punto de vista metodológico, la situación es la siguiente. Hay tres clases de geometría: matemática, física y ontológica. La *geometría matemática* o, de forma abreviada, geometría, es la colección de teorías que definen los espacios de todo tipo, donde 'espacio' se entiende como un conjunto arbitrario provisto de una estructura matemática mínima, de una topología. Esta estructura puede ser modesta o rica. Por ejemplo, sea S un conjunto de dos miembros $S = \{a, b\}$, sin importar qué sean estos elementos. Fórmese el conjunto potencia de S, vale decir, $\tau = 2^S = \{\varnothing, \{a\}, \{b\}, \{a, b\}\}$. Luego, se dice que S es *topologizado* por τ.

De manera equivalente, el par ordenado $\langle S, \tau \rangle$ se llama *espacio topológico* o, de forma abreviada, espacio. Se dice que una teoría del espacio matemático es «concreta» si la naturaleza de los elementos del conjunto base S está especificada, por ejemplo si los miembros de S son n-tuplas de números reales. De lo contrario, es decir, si los «puntos» del espacio son anónimos (individuos no especificados), se dice que la teoría es abstracta o que define un espacio abstracto.

Una *geometría física*, en cambio, es una teoría cuya finalidad es representar cosas y sucesos en el espacio (o espaciotiempo) físico. Consta de una geometría matemática del tipo «concreto» (es decir, interpretada en términos matemáticos), enriquecida con supuestos semánticos («reglas de correspondencia») que especifican los referentes de la teoría (por ejemplo, rayos luminosos) y las propiedades de esos referentes (por ejemplo, su separación mutua) que esos conceptos representan. Por ejemplo, en una geometría de este tipo, un triángulo (físico) podría estar determinado, digamos, por tres rayos luminosos que se intersecan, y la longitud de sus lados podría igualarse a los tiempos de las trayectorias de los fotones que constituyen esos rayos. O sea, los objetos de una geometría física son objetos físicos y, como tales, al menos en principio, son objeto de medición.

Por último, llamaremos *geometría filosófica* o *cronotopía* al conjunto de teorías que explican la estructura profunda, vale decir, la base fáctica, del espaciotiempo. (Una geometría filosófica es parte tanto de la filosofía –en particular de la ontología– como de los fundamentos generales de la física. No se debe confundir con la filosofía de la geometría, que es una metateoría que se ocupa de la naturaleza de los objetos geométricos, las clases de argumentos geométricos, la relación entre la geometría matemática, la ciencia fáctica y la realidad, etc.). La cronotopía utiliza tanto la ontología como la matemática pura y su propósito es fundamentar la geometría física. Se propone desvelar el sustrato óntico de las relaciones espaciotemporales, con el fin de responder las preguntas filosóficas a las que ni la geometría matemática ni la geometría física dan respuesta, por ejemplo «¿Qué son el espacio y el tiempo?». El tema de este capítulo es, precisamente, cronotópico. Y nuestra respuesta a la pregunta que acabamos de formular será: el espacio y el tiempo son lo que la cronotopía diga que son. O, expresado de manera menos sibilina: *el espaciotiempo es la colección de los hechos en conjunto con sus separaciones*, donde «separación» se entiende únicamente en términos de hechos. Cómo se entiende esto con precisión, lo veremos en unos momentos. Pero antes de embarcarnos en la construcción de la teoría, debemos examinar las clases de teorías que podríamos desarrollar.

1. Concepciones en conflicto

1.1. Las tres concepciones principales

Hay tres concepciones principales acerca de la naturaleza del espacio y el tiempo: las llamaremos concepción del continente, de la materia primordial y concepción relacional. (Para una historia de estas ideas, véase Jammer, 1954). Helas aquí en pocas palabras:

(i) La *concepción del continente*: el espacio y el tiempo constituyen el escenario fijo en el cual las cosas actúan su comedia. Los objetos físicos existen en el espacio y el tiempo, los cuales, a su vez, no son objetos físicos. Además, un objeto físico se puede definir como todo aquello que ocupe una región del espacio y una extensión del tiempo. El continente existe por sí mismo (es absoluto), por lo cual continuaría existiendo si todas las cosas contenidas en él cambiaran radicalmente de clase e, incluso, si dejaran de existir. Dado que no se trata de una cosa física ni de una relación entre los objetos físicos, el continente supremo no se puede describir en términos físicos: el espacio y el tiempo deben describirse en términos puramente matemáticos, sin siquiera la ayuda de los puentes o supuestos semánticos concepto-hecho. Por consiguiente, en lugar de afirmar que cierta geometría representa el espacio físico, debemos decir que geometría y espacio son idénticos. Esta concepción es compatible con la concepción objetivista, inventada por los atomistas griegos y refinada por Newton, y con la concepción subjetivista del espacio y el tiempo como el andamiaje necesario para la experiencia humana (Kant).

La concepción del espacio y el tiempo como continente es intensamente sugerida por el modo en el que la ciencia utiliza estos conceptos todo el tiempo. En consecuencia, se calcula o se mide el lugar o el tiempo *en* el que algo ocurre; y se computan o miden los intervalos espaciales independientemente de la clase de los hechos involucrados. Sin embargo, la concepción del marco fijo ha sido estremecida por la teoría relativista de la gravedad, en la que la estructura misma del espaciotiempo es afectada (aunque no determinada) por las cosas que contiene. (Al pasar las páginas de este libro, el lector modifica, si bien en proporción pequeñísima, las distancias entre los objetos del entorno, así como las trayectorias de los rayos luminosos que llegan a sus ojos). Además, esta doctrina es insatisfactoria desde el punto de vista filosófico porque en realidad no responde –salvo de manera metafórica– la pregunta «¿Qué son el espacio y el tiempo?». Y resulta especialmente inaceptable para toda ontología que, como la nuestra, no admita objetos que ni son cosas, ni propiedades de las cosas, ni relaciones entre las cosas. Por consiguiente, no podemos aceptar la concepción del continente, aun cuando en la vida cotidiana podamos fingir que sí lo hacemos.

(ii) La *concepción de la materia primordial*: el espaciotiempo es la sustancia elemental de la cual están hechos todos los objetos físicos. Todo lo que sea parte del mundo es un trozo de espaciotiempo y toda propiedad sustancial es una propiedad de un trozo de espaciotiempo. En consecuencia, todo lo físico debe explicarse en términos espaciotemporales, sea ello el *ápeiron* de Anaximandro, las colinas del espacio de Clifford o los agujeros de gusano de Wheeler. La física se convierte en geometría y, además, en una geometría que no necesita interpretación física, ya que genera su propia interpretación. El dualismo espacio-tiempo de la concepción del continente, es sustituido por el monismo geométrico: el espacio y el tiempo no sólo son experiencial y epistémicamente previos (como lo eran para Kant), sino también ontológicamente primarios (como para Alexander). En efecto, se concibe todo objeto físico como un alabeo local del espacio (o el espaciotiempo). En consecuencia, se dice que una partícula eléctricamente cargada es idéntica a un agujero de gusano en la variedad espaciotemporal básica. (Véase Wheeler, 1962). En resumidas cuentas, el espacio y el tiempo son tan absolutos como en la concepción del continente, en el sentido de que sus propiedades no dependen de nada más. La diferencia es que, según la concepción de la materia primordial, las cosas no están en el espaciotiempo, sino que éste las constituye.

Esta fascinante teoría es, desafortunadamente, demasiado simple desde los puntos de vista semántico y ontológico para ser verdadera. Lo primero, porque se proclama que el formalismo matemático no necesita hipótesis semánticas («reglas de correspondencia»). Por consiguiente, en lugar de decir que cierta figura en el espaciotiempo *representa* un agujero negro, sencillamente se *llama* agujero negro a esa superficie: las definiciones toman el lugar de los supuestos semánticos, por lo cual desaparece la línea fronteriza entre la ciencia formal y la ciencia fáctica, y tal vez también la que distingue entre constructos y cosas. Además, la teoría es ontológicamente simple porque se propone reducir la totalidad de la variedad de la materia a la extensión y la forma (en cuatro dimensiones) únicamente. Esta reducción cartesiana a *figures et mouvements* no da razón de la variedad de las partículas elementales y los campos.

(iii) La *concepción relacional*: el espacio y el tiempo no son objetos con existencia independiente, sino una red de relaciones entre los ítems fácticos: las cosas y sus cambios. A lo que se asigna propiedades matemáticas (topológicas, afines o métricas) no es al propio espaciotiempo, sino a los conjuntos de cosas –átomos, campos, etc.– y sus cambios. Sin cosas cambiantes no hay espaciotiempo. Desde luego, podemos decir que las cosas tienen propiedades espaciotemporales, pero éstas se reducen a relaciones entre las cosas o sucesos. Los conceptos de espacio y tiempo utilizados en la ciencia deben surgir (y, además, hacerse más precisos) mediante la abstracción a partir de los hechos, como cuando «El punto x está incluido en la esfera s con centro en el origen del sistema de coordenadas k» se abstrae a partir de «La cosa X dentro de la bola S centrada en el origen del marco de referencia material f (representado por el sistema de coordenadas k)». Asimismo, «El instante t_1 precede al instante t_2 en el sistema de coordenadas cuadridimensional k» debe interpretarse como una abstracción de «El suceso e_1 precede al suceso e_2 en el marco de referencia f (representado por un sistema de coordenadas cuadridimensional k)».

La concepción relacional ha sido expuesta, con variado grado de claridad, por pensadores tan diversos como Aristóteles, Lucrecio, Agustín de Hipona, Leibniz, Lambert, Lobachevsky, Riemann, Engels, Mach, Whitehead, Robb, van Dantzig, Fokker y Penrose. Quien mejor la resumió fue Leibniz, en sus tan citadas palabras: el espacio es un *orden de coexistentes posibles* y el tiempo *un orden de sucesivos* (Leibniz, 1956, II, p. 1083). Por consiguiente, hablar de espacio o de tiempo es una forma elíptica de hablar de los hechos (Mach, 1872, 1883). Cuando decimos 'La posición de la cosa X' lo que decimos realmente es «La posición de la cosa X relativa a la cosa Y», donde Y es bien un marco de referencia o bien simplemente el entorno de X. Y cuando decimos 'El estado de la cosa X en el instante t' lo que realmente queremos decir es «El estado de la cosa X cuando el marco de referencia (o entorno) elegido está en el estado t». Sin embargo, y a pesar de Mach, de ello no se sigue que los conceptos de espacio y tiempo sean prescindibles: dilucidar no es necesariamente explicar y eliminar. No nos podemos dar ese lujo porque la alusión a jalones espaciales y temporales equivale a una referencia pública y global y, por consiguiente, objetiva y económica al estado del entorno, de un entorno cualquiera, de cualquier clase. Además, no hay mejor modo de conseguir precisión cuantitativa que mediante la fijación de las coordenadas espaciotemporales de una cosa o un suceso. Pero ésta es una cuestión metodológica: lo que importa a la ontología es que el espacio y el tiempo no son objetos con existencia independiente (absolutos) y de estatus ontológico incierto (ni cosas ni propiedades). La concepción relacional consiste en que *el espacio es la estructura básica de la totalidad de los hechos posibles*. Pero a diferencia de la concepción de la materia primordial, que finalmente se desarrolló transformándose en una teoría completa (la geometrodinámica), la concepción relacional se ha mantenido, hasta el momento, en su fase heurística. En las secciones subsiguientes avanzaremos hasta completar un sistema hipotético deductivo que aclara las intuiciones básicas de los pensadores partidarios de la concepción relacional. Pero antes de apilar ladrillos, echemos una ojeada a los estilos arquitectónicos.

1.2. Enfoques para la construcción cronotópica

Hay dos enfoques gnoseológicos del problema de construir una cronotopía relacional: el subjetivista y el objetivista. En el primero, se consideran el sujeto y su experiencia cognitiva como punto de partida, en tanto que en el segundo caso se parte de una reflexión de las cosas en sí mismas. El enfoque subjetivista ha sido ensayado por Whitehead, Nicod y Basri, entre otros. Echemos un vistazo a esas tentativas.

Whitehead (1919) supone que el espacio es euclídeo e intenta definir todos los conceptos que la geometría euclídea considera primitivos en términos experienciales. [El intento de Whitehead (1919, p. vii) consistente en «la deducción de conceptos científicos a partir de los elementos más simples de nuestro conocimiento sensorial» tiene una resonancia al programa de Berkeley-Mach]. En consecuencia, la de Whitehead no es una construcción radical, sino una reconstrucción con un fuerte componente a priori, a saber, un componente matemático particular, y un sesgo filosófico igualmente intenso: el empirismo radical. A causa de ese elemento a priori, la teoría del espacio y el tiempo de Whitehead es incompatible (por diseño) con las dos teorías de la relatividad y, por consiguiente, irremediablemente obsoleta y sin remedio, ya desde el instante de su nacimiento. Y debido a su acusado subjetivismo, la teoría es inconsistente con la perspectiva gnoseológica propia de la ciencia, la cual es realista y es la adoptada en esta obra. (Recuérdese nuestra Regla 7 para filosofar: Introducción, Sección 4). El intento más reciente de Lucas (1973) es vulnerable a críticas parecidas a las anteriores.

La tentativa de Nicod (1923), aunque mucho menos lograda desde el punto de vista técnico, era más radical e igual de ajena a la ciencia que la de Whitehead. Era más radical, porque Nicod partía de experiencias (imaginarias) e intentaba desarrollar una geometría a partir de ellas, sin imponer al espacio una estructura a priori. (Trae a la mente a Condillac y su estatua). En otras palabras, Nicod –siguiendo el ejemplo de Mach y Russell, y de modo independiente de la tentativa parecida de Carnap– intentó construir una geometría física a partir de la psicología (de sentido común). En realidad, no consiguió nada por el estilo: ni siquiera produjo una teoría de alguno de los espacios sensoriales, tales como los espacios visual y acústico. (Ni él ni Whitehead advirtieron las diferencias entre el espacio físico y el espacio sensorial). Como la de Whitehead, la de Nicod fue un fracaso científico y filosófico. [Para críticas detalladas, véase McGilvary (1951) y Vuillemin (1971)].

Por último, el trabajo más reciente en la línea Mach-primer Russell-Whitehead-Carnap –me refiero al de Basri (1966)– es tan subjetivista como los otros, pero en cambio tiene los méritos de ser admirablemente riguroso y de respetar las fórmulas de la física relativista. Con todo, no sirve como fundamento para esta última, porque viola el espíritu de las dos relatividades, que son las teorías de campo (Basri acepta únicamente las partículas) y, además, son invariantes respecto del observador (la de Basri es dependiente del observador). Y si bien la teoría manifiesta ocuparse de los observadores humanos y de sus sensaciones y operaciones, no hace ninguna aportación a la fisiología ni a la psicología de la percepción del espacio o el tiempo. En resumen, puesto que la teoría está al servicio de una filosofía acientífica –a saber, el empirismo– no sirve para la física ni para la psicología.

El enfoque subjetivista no puede producir lo que deseamos en una ontología científica, a saber, una cronotopía objetiva compatible con la física pero lo bastante maleable como para que el físico pueda modelarla según sus teorías y datos. Y tanto en su versión subjetivista como en la convencionalista, el enfoque a priori de la geometría del espacio físico no es físico, porque asigna al espacio una estructura independiente de la distribución real de las cosas. Por consiguiente, debemos ensayar un enfoque objetivista, esto es, uno que comience a partir de ítems fácticos como materia primordial, y postular sus relaciones espaciotemporales de manera independiente de las consideraciones de la percepción y hasta de la medición. Esto no significa que la construcción deba realizarse a priori, es decir, previamente a la experiencia. Por el contrario, nos guiará el descubrimiento, realizado por la experiencia científica, de que el espacio físico es un continuo generalizado conexo tridimensional. En beneficio de la simplicidad, desarrollaremos primero una geometría, luego una cronología y, finalmente, una cronotopía o teoría filosófica del espaciotiempo.

2. El espacio

2.1. Interposición

Construiremos nuestra teoría relacional del espacio utilizando únicamente los materiales elaborados en los capítulos anteriores. En realidad, sólo necesitamos los siguientes supuestos y definiciones antecedentes:

- (i) existen objetos concretos o cosas, ninguno de ellos es un constructo y todos ellos existen de manera independiente del sujeto cognoscitivo;
- (ii) todas las cosas se yuxtaponen o agregan: si $x, y \in \Theta$, luego $x \dotplus y \in \Theta$ o, de forma equivalente, $[\{x, y\}] \in \Theta$;
- (iii) el universo es la agregación de todas las cosas, vale decir, $\square = [\Theta]$, y todo lo que es parte del mundo es una cosa, o sea que si $x \sqsubset \square$, luego $x \in \Theta$;
- (iv) todas las cosas son o constan de cosas básicas o miembros de $B \subset \Theta$: para todo $x \in \Theta$ hay un único subconjunto B_x de B, tal que $x = [B_x]$; y las cosas básicas son elementales, vale decir, que no poseen partes: si $x, y \subset B$ y $x \sqsubset y$, luego $x = y$;
- (v) todas las cosas están en algún estado relativamente a una cosa estándar o marco de referencia, y la colección de estados

realmente posibles (legales) de una cosa x se llama espacio de estados legal $S_{\mathbb{L}}(x)$ de la cosa;

(vi) la evolución o historia de cada cosa x es representable como una trayectoria en su espacio de estados legal: si $\mathbb{F}$ es la función de estado de x y $S(f)$ el espacio de estados del marco de referencia f, luego $h(x) = \{\langle t, \mathbb{F}(t)\rangle | t \in S(f)\}$;

(vii) una cosa x actúa sobre otra cosa y si la primera modifica la historia de la segunda: $x \rhd y =_{df} h(x \dotplus y) = h(x) \cup h(y|x) \;\&\; h(y|x) \neq$ $\neq h(y)$;

(viii) el efecto o acción total de una cosa x sobre la cosa y es $A(x, y) =$ $= h(y|x) \cap \overline{h(y)}$;

(ix) todo cambio es un cambio en el estado de una cosa y el cambio neto de la cosa x desde el estado s al estado s' puede representarse como un par ordenado $e = \langle s, s'\rangle \in S_{\mathbb{L}}(x) \times S_{\mathbb{L}}(x)$;

(x) si $e = \langle s, s'\rangle$ y $e' = \langle s'', s'''\rangle$ son sucesos en una cosa x relativamente a un marco de referencia f, luego e precede a e' si e se compone con e' en el orden indicado para formar otro suceso en x; vale decir, $e \prec e' =_{df} e * e' \in E_{\mathbb{L}}(x)$, donde $E_{\mathbb{L}}(x)$ es el suceso legal propio de x, o sea, el conjunto de cambios realmente posibles de x.

Nuestra primera noción geométrica será la de interposición, la cual construiremos en términos de las nociones ontológicas incluidas en la lista anterior. Nuestra definición será explícita, a saber, mediante el

POSTULADO 6.1 Sea R una relación ternaria entre cosas y abréviese «R es válida entre x, y, z en el orden indicado» como $x|y|z$, donde $x, y, z \in \Theta$. Luego, R es la relación de *interposición*, o relación de *estar entre*, sii para todo $u, v, x, y, z \in \Theta$

(i) $x|y|z \Rightarrow x \neq y \neq z \neq x$ o $x = y = z$, vale decir, R es válida entre cosas diferentes o lo es trivialmente para una única cosa;

(ii) $x|y|z \Rightarrow z|y|x$, es decir que R es simétrica en las variables exteriores;

(iii) $x|y|z \;\&\; u|x|y \;\&\; y|z|v \Rightarrow u|y|v$, o sea que toda cosa interpuesta entre dos cosas dadas, también está entre dos cosas exteriores;

(iv) $x \neq y \;\&\; x \sqsubset y \Rightarrow \neg(\exists z)(z \in \Theta \;\&\; x|z|y)$, es decir que entre la parte y el todo no se interpone nada;

(v) $y \in B \Rightarrow (\exists x)(\exists z)(x, z \in \mathrm{B} - \{y\} \;\&\; x|y|z)$, o sea que toda cosa básica está «rodeada» de otras dos cosas básicas;

(vi) $\neg(x \sqsubset y) \;\&\; \neg(y \sqsubset x) \Rightarrow (\exists z)(z \in B \;\&\; x|z|y)$, es decir que hay cosas básicas interpuestas entre dos cosas separadas [*detached*] cualesquiera: el universo es denso, constituye un *plenum;*

(vii)$x|y|z \ \& \ x \rhd z \Rightarrow (\exists u) \ [u \in A(x, y) \ \& \ (v) \ (v \in A(x, z) \Rightarrow u < v)]$, vale decir que si y se interpone entre x y z, y x actúa sobre z, algunos de los efectos de x sobre y preceden a todos los efectos de x sobre z. (Véase la Figura 6.1).

Las primeras tres cláusulas parecen intuitivas. La cuarta es una especie de interpretación del segundo grupo de axiomas para la geometría elemental de Hilbert, en nuestra notación $\neg(x|y|z)$ (Hilbert, 1899). La quinta cláusula es una suerte de complemento del cuarto componente del segundo grupo de axiomas de Hilbert, o sea que entre dos cosas distintas hay otra. La sexta es admitida tanto por la teoría de la gravedad como por la electrodinámica cuántica: según estas teorías, ninguna región del espacio está completamente vacía de entidades. (Se trata, desde luego, de la hipótesis plenista defendida, entre otros, por Aristóteles, Descartes y Einstein). Y la última cláusula exhibe, de modo tal vez más contundente que las otras, la materialidad de la relación de interposición. Los leibnizianos la objetarían con el argumento de que habría espacio incluso en un universo compuesto de entidades mutuamente independientes (mónadas), ninguna de las cuales actuaría sobre ninguna de las demás. Puede ser, pero da la casualidad de que nuestro universo no es así (Postulado 5.10). La cláusula (vii) sugiere que la relación de interposición podría no estar definida de manera adecuada para un universo inmutable.

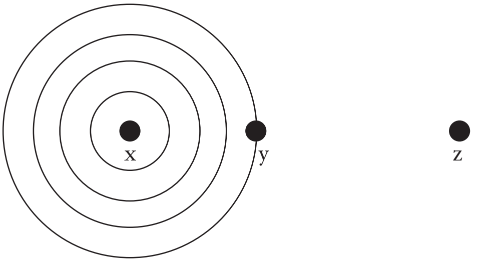


Figura 6.1. Ejemplificación de la cláusula (vii) del Postulado 6.1. Una onda esférica emitida por *x* alcanza a *y* antes que a *z*.

2.2. El espacio del filósofo

Un concepto básico de toda geometría es el de separación [*separation*].[#] Hay varias nociones de este concepto. Una de ellas es la noción topológica de separación entre conjuntos (Wallace, 1941). No podemos utilizarla, porque deseamos aclarar la noción de separación entre cosas concretas, no entre conjuntos, que son constructos. Otros conceptos de separación son métricos o cuasimétricos. Todos ellos consisten en una función de variable real d sobre un conjunto abstracto S que obedece condiciones conocidas. Se dice que los miembros x e y de S están separados si $d(x, y) \neq 0$. Tampoco podemos emplear estas nociones, porque nuestro propósito no es competir con la física mediante la asignación de medidas cuantitativas precisas a las separaciones entre las cosas. Necesitamos una noción más básica y cualitativa de separación. La obtendremos con ayuda del concepto de interposición.

Definiremos la separación entre dos cosas como el conjunto de cosas que se interponen o que están entre las cosas dadas. Más precisamente, convendremos la

DEFINICIÓN 6.1 Sea $B \subset \Theta$ el conjunto de las cosas básicas. Se llama *separación* [*separation*] *de las cosas* a la función σ: $\Theta \times \Theta \rightarrow 2^B$ tal que $\sigma(x, y) = \{z \in B|x|y|z\}$ para $x, y \in \Theta$.

Dado que la cosa nula es parte de todas las cosas, la separación entre una cosa arbitraria y la cosa nula es nula, vale decir, $\sigma(x, \square) = \varnothing$. Y a causa de que todas las cosas son parte del mundo, no hay separación entre una cosa arbitraria y el mundo: $\sigma(x, ▯) = \varnothing$. Estas dos consecuencias se siguen del Postulado 6.1 y la Definición 6.1, así como el

TEOREMA 6.1 Para dos cosas cualesquiera $x, y \in \Theta$,

(i) $\sigma(x, x) = \{x\}$;

(ii) $\sigma(x, y) = \sigma(y, x)$.

Demostración La primera parte se sigue de la cláusula (i) del Postulado 6.1. La segunda, de la cláusula (ii).

Adviértanse las semejanzas y desemejanzas entre σ y las funciones de distancia (o cuasidistancia) d mencionadas al inicio de esta sección. La propiedad (ii) es análoga a las propiedades correspondientes de las

[#] Adviértase que hemos utilizado la misma palabra –'separación'– para designar dos conceptos diferentes: el precisado en la Definición 1.4 de la Sección 1.3 del Capítulo 1 (*detachment*) y el definido en esta sección (*separation*). [N. del T.]

d. En cambio, la propiedad (i) no lo es, ni tampoco lo es la invariancia respecto del marco de las *d*.

Además, si una cosa se interpone entre dos cosas, las cuales a su vez se interponen entre otras dos cosas, la primera se interpone entre las últimas. En términos de la función de separación:

TEOREMA 6.2 Para toda cosa $u, v, x, y, z \in \Theta$: si $y \in \sigma(x, z), x \in \sigma(u, y)$ y $z \in \sigma(y, v)$, luego $y \in \sigma(u, v)$.

Demostración Mediante el Postulado 6.1(iii) y la Definición 6.1.

Podemos derivar otros teoremas, pero no los necesitaremos para nuestros fines. Lo que sí necesitamos es otra propiedad de la función de separación que no se sigue de los supuestos y definiciones previos. En consecuencia, debemos postularla (véase la Figura 6.2). Más exactamente, supondremos el

POSTULADO 6.2 Sean x_1, x_2, y, z_1 y z_2 cosas básicas. Si $y \in \sigma(x_1, z_1) \cap \sigma(x_2, z_2)$ y $x_1 \neq z_1, x_2 \neq z_2$, luego hay cosas básicas x_3 y z_3, tal que $x_3 \neq z_3$ y

$$y \in \sigma(x_3, z_3) \subset \sigma(x_1, z_1) \cap \sigma(x_2, z_2).$$

Ahora disponemos de todo lo que necesitamos para construir una importante noción: la

DEFINICIÓN 6.2 Llamamos *espacio de la cosa*, de forma abreviada $\vartheta = \langle B, \sigma \rangle$ al conjunto B de cosas básicas, junto con la función de separación σ.

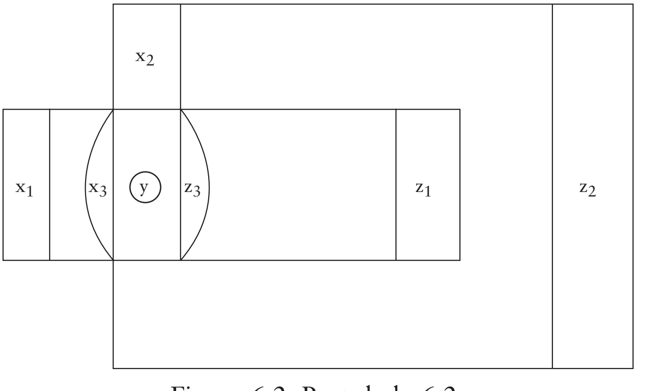


Figura 6.2. Postulado 6.2.

En otras palabras, el espacio de la cosa no es más que *la colección de las cosas espaciadas* o conjunto de cosas relacionadas por sus separaciones mutuas. Este espacio merece ser considerado un espacio real (o común o físico) porque sus coordenadas, B y σ, son reales. En efecto, hemos supuesto que las cosas básicas son reales y, más aún, que son los constituyentes fundamentales de todos los objetos concretos; y la función de separación es una *relatio realis*# en el sentido de la Definición 2.17 de la Sección 5.1 del Capítulo 2, ya que σ tiene lugar entre cosas reales.

El espacio ϑ es todo lo que necesita el filósofo, ya que ha sido construido a partir de unos pocos conceptos (ontológicos) extremadamente generales. Podemos decir que ϑ es el *espacio del filósofo* y que la teoría correspondiente (resumida en los postulados, definiciones y teoremas precedentes) es una *geometría filosófica* y, además, es relacional y objetivista. No obstante, hasta aquí no disponemos de pruebas de que ϑ sea efectivamente el espacio físico: no hemos demostrado que nuestra geometría filosófica se pueda especificar para producir una geometría utilizable en la física. Esta tarea la realizaremos en la siguiente subsección, adaptada de Bunge & García Máynez (1977).

2.3. El espacio del físico

El espacio de la cosa propuesto en la Definición 6.2 parecería tener una estructura demasiado pobre para ser considerado un espacio físico o, siquiera, uno matemático. Con todo, no es el caso, como se mostrará en esta subsección. Para comenzar, $\langle B, \sigma \rangle$ posee una estructura topológica definida, tal como lo prueba el

TEOREMA 6.3 La familia de conjuntos de cosas básicas

$$\tau = \{X \in 2^B \mid \text{Para todo } y \in X \text{ existen } x \text{ y } z \text{ en } B - \{y\}, \\ \text{tal que } y \in \sigma(x, z) \subset X\}$$

es una topología para B.

Demostración Mediante el Postulado 6.1(v), $B \in \tau$. Además, resulta obvio que $\varnothing \in \tau$ y que toda unión de los miembros de τ pertenece

Relación de reales. [N. del T.]

a τ. Finalmente, por el Postulado 6.2, la intersección de dos elementos cualesquiera de τ también pertenece a τ. En consecuencia, τ es, efectivamente, una topología para B.

Supondremos, por ende, que el conjunto B de cosas básicas, provisto de una topología τ, es o –mejor dicho– representa el espacio físico:

POSTULADO 6.3 El espacio topológico $\Sigma = \langle B, \tau \rangle$ representa el espacio físico (común, real).

Sin embargo, por el momento no disponemos de suficiente justificación para suponer esta hipótesis, más allá del hecho de que B está constituido por cosas y posee una topología. Una razón de ello es que no le hemos asignado ninguna dimensionalidad definida a Σ, a la vez que estamos bastante seguros de que el espacio físico es tridimensional. Otra razón es que deseamos que Σ sea conexo (en un intervalo). Resolveremos estos y otros problemas imponiéndole ciertas propiedades a Σ. Vale decir, *obligaremos* al Postulado 6.3 a ser verdadero.

Para empezar, definiremos los cierres [o clausuras] de τ del modo habitual:

DEFINICIÓN 6.3 Si $A \in \tau$, luego

$$Cl\, A =_{df} \{x \in B | \text{Para todo } V \text{ de } \tau \text{ que contenga a } x,\ V \cap A \neq \varnothing\}.$$

Para que estas clausuras nos sirvan de ayuda deben ser lo bastante grandes. Esto queda garantizado por el supuesto, bastante moderado, expresado en el

POSTULADO 6.4 Todo par de cosas básicas separadas pertenece a la τ-clausura de su separación. O sea,

$$\text{para todo } x, y \in B, \text{ si } \sigma(x, y) \neq \varnothing, \text{ luego } x, y \in Cl\, \sigma(x, y).$$

Si establecemos que $x = y$, de ello se sigue directamente que todo subconjunto finito de B es cerrado. Ahora bien, a un espacio con esta propiedad le llamamos T_1-espacio. En otras palabras, tenemos el

COROLARIO 6.1 El espacio físico $\Sigma = \langle B, \tau \rangle$ es un T_1-espacio.

Necesitamos un supuesto más para convertir Σ en un espacio Hausdorff (o T_2-espacio). En realidad, Σ debe poseer más propiedades: el físico quiere que Σ sea un espacio conectable y metrizable, localmente homeomórfico respecto de $\mathbb{R}^3$. En otras palabras, Σ debe ser una 3-variedad euclídea.

Ahora bien, desde hace tiempo se sabe que es posible expresar cualquier teorema de la geometría tridimensional euclídea con la sola ayuda de los conceptos de esfera y de inclusión. De hecho, éstas son las únicas nociones extralógicas no definidas del conjunto de postulados para una geometría elemental propuesta por Huntington (1913). Por ejemplo, en esta geometría, un *punto* está definido como una esfera tal que no hay ninguna otra esfera en su interior. Y un *segmento*, se define del modo siguiente: sean a y b dos puntos dados cualesquiera, vale decir, esferas mínimas. Si x es un punto tal que toda esfera que contenga tanto a a como a b contiene también a x, luego, se dice que x pertenece al *segmento* (ab) o (ba). (Véase la Figura 6.3).

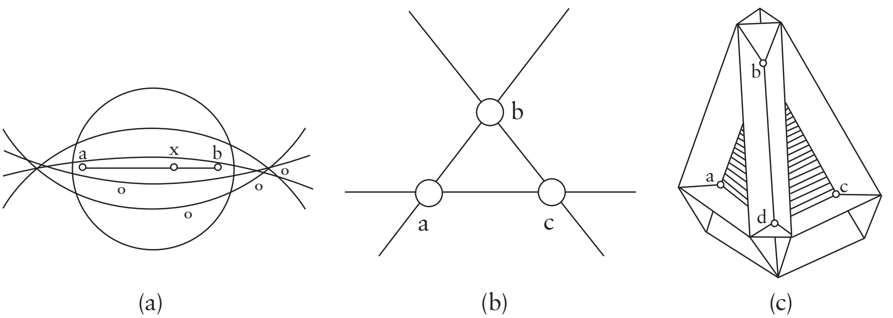


Figura 6.3. Construcción del espacio con esferas: *(a)* un segmento, *(b)* un triángulo, *(c)* un tetraedro. A partir de Huntington (1913), figuras 1, 3, 9.

Adoptaremos los postulados de Huntington, pero en lugar de tomar como primitiva la noción de esfera, la definiremos en términos de algunos de nuestros conceptos anteriores. Esto dotará a los postulados de Huntington de una interpretación física (no sólo protofísica u ontológica) y, en consecuencia, nos autorizará a afirmar que caracteriza el espacio físico (en lo pequeño).

Nuestra primera tarea es, por ende, definir el concepto de esfera. Definiremos una esfera situada entre dos cosas como la clausura de una separación entre esas cosas. Más precisamente, convendremos la

DEFINICIÓN 6.4 Para todo par $x, z \in B$ de cosas básicas distintas, las *esferas* situadas entre x y z son

$$Sxz = \{Cl\, \sigma(u, v) | u, v \in B \;\&\; \varnothing \neq Cl\, \sigma(u, v) \subset \sigma(x, z)\}.$$

A continuación, supondremos que estas esferas satisfacen los postulados de Huntington.

POSTULADO 6.5 Para todo par $x, z \in B$ dado de cosas básicas, si las esferas Sxz son no vacías, la estructura $\langle Sxz, \subset \rangle$ satisface (es un modelo de) los axiomas de Huntington (1913).

De lo que se sigue el

TEOREMA 6.4 La separación no vacía $\sigma(x, z)$ entre dos cosas básicas $x, z \in B$ es homeomórfica a un espacio euclídeo tridimensional.

Demostración Las esferas mínimas son los puntos particulares de $\sigma(x, z)$. Por el Teorema 47 de Huntington (1913) esta colección puede topologizarse de forma tal que sea homeomórfica respecto de $\mathbb{R}^3$. Ahora bien, una base para esta topología consta de todos los τ-interiores de elementos de Sxz. Por consiguiente, esta topología es idéntica a la topología relativa de $\sigma(x, z)$.

Ahora disponemos de justificación para establecer la

DEFINICIÓN 6.5 De todo miembro de $Cl\, \sigma(u, v)$ de la familia de esferas Sxz, situado entre las cosas x y z, se dice que es una *bola euclídea*.

Ahora recordemos que el espacio físico es un T_1-espacio (Corolario 6.1). Dado que el Postulado 6.5 proporciona regularidad, de ello resulta el

COROLARIO 6.2 $\Sigma = \langle B, \tau \rangle$ es una 3-variedad regular sin borde.

Hemos llegado cerca de la meta. Conseguiremos nuestro objetivo mediante la adición de un supuesto más, a saber, que dos cosas básicas cualesquiera pueden unirse por intermedio de una sarta de esferas (Figura 6.4). Más precisamente, supondremos el

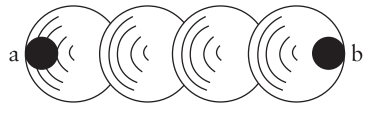


Figura 6.4. La cadena de esferas parcialmente superpuestas que une las cosas a y b (puntos negros).

POSTULADO 6.6 El conjunto B de cosas básicas contiene dos secuencias, $x_1, x_2, \ldots$ y $z_1, z_2 \ldots$ tal que $x_i \neq z_1$ para cada $i \in \mathbb{N}$ y, para todo par a, b de B, existe una cadena simple

$$\langle C_i \,|1 \leqslant i \leqslant n\rangle, \text{[es decir, } C_i \cap C_{i+1} \neq \varnothing, 1 \leqslant i \leqslant n-1],$$

tal que $a \in C_1$ y $b \in C_n$, y todo C_i es de la forma $\sigma(x_j, z_j)$.

Ahora podemos demostrar que Σ es conexo, vale decir, que es una única pieza o que no tiene lagunas. Además, al mismo tiempo demostraremos que Σ satisface el segundo axioma de numerabilidad, es decir, que posee una base contable. (Una base para τ es un subconjunto β de τ tal que cada miembro de τ sea una unión de miembros de β, de suerte tal que estos últimos son los ladrillos que componen τ). En realidad, también podemos demostrar que Σ es metrizable. Todo esto es afirmado por el

TEOREMA 6.5 $\Sigma = \langle B, \tau\rangle$ es una 3-variedad segundo numerable [o segundo contable], metrizable sin contorno.

Demostración Dado que (por el Teorema 6.4) todo $\sigma(x_i, z_i)$ es homeomórfico a $\mathbb{R}^3$, todo $\sigma(x_i, z_i)$ es conexo y Lindelöf. Ahora bien, todo espacio de Lindelöf regular es paracompacto y todo espacio paracompacto localmente metrizable es metrizable. En consecuencia, $\langle B, \tau\rangle$ es conexo, Lindelöf y metrizable. Por último, $\langle B, \tau\rangle$ es segundo numerable porque en los espacios metrizables las propiedades de ser Lindelöf y ser segundo numerable son equivalentes. [Para estas nociones, véase, por ejemplo, Gaal, 1964].

En otras palabras, el espacio físico es una variedad tridimensional conectada. Y puesto que Σ es metrizable, el físico puede asignarle una métrica adecuada. Desde luego, nos abstendremos de hacer semejante cosa, porque nuestro objetivo era construir un concepto de espacio físico lo bastante amplio como para poder utilizarlo en los fundamentos axiomáticos de cualquiera de las teorías físicas actuales. (Además, las teorías de la relatividad nos han enseñado que toda tentativa de asignar una métrica al espacio sin tener en cuenta el tiempo está condenada al fracaso: sólo se puede asignar la métrica apropiada al espaciotiempo).

Esto completa nuestra justificación del Postulado 6.3, de que $\Sigma = \langle B, \tau \rangle$ representa el espacio físico. Pero ¿por qué teníamos que exigirle a Σ tener precisamente las propiedades postuladas o deducidas en esta subsección? ¿Por qué no hipotetizar un conjunto completamente diferente de propiedades del espacio físico? La respuesta a estas dos preguntas depende de la relación de la filosofía del autor con la ciencia y, por ende, de forma indirecta, con la realidad.

En una filosofía a priori, se puede asignar al espacio físico cualquier estructura que se desee. Por ejemplo, se puede postular –como han hecho Whitehead (1919) y Lucas (1973)– que el espacio físico es globalmente euclídeo. Pero en una filosofía que procura ser contigua a la ciencia esta libertad no existe. En toda filosofía orientada a la ciencia, se requiere que la geometría del espacio corriente sea congruente con la de la física. Además, hay que dejar que la física lleve la voz cantante, porque son los físicos, no los filósofos, quienes tienen la competencia para decidir acerca de las cuestiones de la estructura fina del espacio físico.

Ahora bien, da la casualidad que la física supone que el espacio físico es una variedad diferenciable tridimensional. (Véase, por ejemplo, Trautman, 1965). Esto es necesario para escribir las ecuaciones básicas de la física contemporánea, pero habitualmente es insuficiente para resolverlas. (Pasamos por alto las teorías heterodoxas especulativas. Si se comprobase que una de ellas es verdadera tendríamos que cambiar nuestra geometría). Sin duda, la mayoría de las teorías precisa alguna estructura adicional. Por ejemplo, la mecánica clásica y la mecánica cuántica no relativista requieren que el espacio corriente sea globalmente euclídeo, la electrodinámica clásica exige que sea un espacio afín y la teoría relativista de la gravitación supone que el espacio es riemanniano. Pero el supuesto común a todas estas especificaciones es que el espacio físico es una variedad tridimensional. Dado que éste es el supuesto geométrico mínimo, debería ser una restricción suficiente y necesaria para la filosofía, hasta nuevo aviso. (Recuérdese la Regla 10 del método de la ontología científica: Introducción, Sección 4).

La geometría descrita en esta subsección es, por ende, compatible con la física contemporánea ortodoxa. Una nueva física podría requerir una nueva geometría protofísica (u ontológica). Algunas veces se han sugerido dos cambios radicales de este tipo. Uno es que tal vez el continuo espacial generalizado pueda ser reemplazado por un espacio discontinuo o atómico, con una longitud fundamental incorporada. (Esta hipótesis es sospechosa porque normalmente tiene una motivación operacionista: la imposibilidad de medir distancias por debajo de cierto valor, por ejemplo, 10^{-11}cm). Otra posibilidad es que nuestras métricas actuales pueden ser especies de promedios de métricas estocásticas que describen un espaciotiempo fluctuante. (Esta otra hipótesis es mucho más verosímil en vista de las fluctuaciones de punto cero del campo electromagnético). No obstante, parece que a ninguna de estas ideas se la ha llevado más allá de la etapa programática. El hecho es que las teorías que realmente emplean los físicos no hacen ningún supuesto acerca del espacio que contradiga nuestros resultados.

En resumen, podemos declarar verdadera nuestra geometría ontológica, porque la física contemporánea así lo hace. Pero, a la vez, debemos estar preparados para verla corregida o, incluso, ser objeto de una revolución, debida a nuevos desarrollos de la física.

2.4. Bulto y forma

Ahora que disponemos de los cimientos para modelizar el espacio físico como una variedad, podemos usar esta última para determinar el bulto y la forma de las cosas. Primero, exactificaremos la noción de *lugar ocupado por una cosa*:

DEFINICIÓN 6.6 Sea la 3-variedad $M^3 = \Sigma = \langle \mathrm{B}, \tau \rangle$ que representa el espacio físico. Luego, llamamos *bulto* a la función $\beta \colon \Theta \to 2^{M3}$ que aplica cosas a regiones del espacio, y *bulto de* x a su valor $\beta(x)$ en $x \in \Theta$ sii

(i) β es inyectiva;

(ii) para toda cosa x diferente de la cosa nula $\varnothing \subset \beta(x) \subseteq M^3$;

(iii) para todo $x, y \in \Theta$, $\beta(x + y) = \beta(x) \cup \beta(y)$.

La primera cláusula hace lugar a cosas que, como los fotones, pueden compartir la misma región del espacio. La segunda afirma que toda cosa real posee un bulto no vacío, aun cuando –como en el caso de la mítica partícula puntual– el bulto consista en un punto particular en el espacio. La tercera, que β es aditiva. Las tres cláusulas en conjunto dilucidan la noción de *lugar* o *espacio ocupado por una cosa*.

Ninguna de las condiciones anteriores presupone o implica que todas las cosas poseen contornos nítidos: en lo que concierne a la Definición 6.6, una cosa puede tener «colonias», es decir, piezas fuera de su bulto principal. En consecuencia, nada se insinúa acerca de la medida del volumen de una cosa. Las referentes a la medida son preguntas científicas específicas que se responden mediante el cálculo o la medición de volúmenes, no de bultos. (Y los volúmenes, a diferencia de los bultos, dependen de las interacciones entre los componentes, así como del marco de referencia). En cambio, la Definición 6.6 sí nos permite comparar bultos. En efecto, si x e y son cosas, luego podemos decir que x es *más abultada* que y, en el preciso caso en que $\beta(x) \supseteq \beta(y)$.

El concepto de bulto nos permite definir el de forma:

DEFINICIÓN 6.7 Sea $x \in \Theta$ una cosa con bulto $\beta(x) \subset M^3$. Luego, x posee la *forma* f si el borde $\partial\beta(x)$ de $\beta(x)$ es homeomórfico respecto de una función continuamente diferenciable de a intervalos $f: \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$.

Comentario 1 Los valores de la función de forma f dependen de la elección del marco de referencia y, por ende, del sistema de coordenadas. Por consiguiente, la forma es marco-dependiente en lugar de ser marco-invariante. (Recuérdese el achatamiento de una esfera, el cual la transforma en una elipsoide relativa a un marco en movimiento). *Comentario 2* La forma no es una propiedad universal de las cosas. Por ejemplo, los electrones no tienen forma propia o, si se lo prefiere, adquieren la forma del cuerpo macrofísico que los contiene. Tampoco tienen forma propia definida los cuerpos porosos ni los cuerpos gaseosos. En consecuencia, no podemos considerar que la forma sea una propiedad básica de las cosas. Por consiguiente, no podemos adoptar el programa de Descartes consistente en explicar el universo en términos de *figures et mouvements* únicamente. *Comentario 3* La forma, que no es una propiedad de las cosas básicas, emerge de manera bastante definida en el nivel macromolecular y se hace más definida cuanto más abultada sea la cosa. Se trata, en consecuencia, de una propiedad derivada. Más aún, emerge de características no geométricas. En consecuencia, la configuración helicoidal de la molécula de ADN es resultado de fuerzas químicas, tales como los enlaces de hidrógeno entre un grupo NH y un grupo carbonilo, además de lo cual es influida por el entorno de la molécula, a un punto tal que la pauta desaparece a temperaturas elevadas. Asimismo, la forma de un macrocuerpo está determinada conjuntamente por las tensiones internas y las fuerzas externas. En general, cuando existe, la forma o pauta geométrica es resultado de la interacción de fuerzas internas y restricciones externas. *Comentario 4* Si bien la forma es una propiedad secundaria, una vez que se la ha adquirido condiciona la adquisición o pérdida de otras propiedades, las cuales se llaman *propiedades estéricas*. Baste recordar que la actividad específica de las enzimas depende de su forma.

2.5. Comentarios finales

Hemos obtenido una solución al problema que nos propusimos resolver, el de construir una teoría del espacio físico basada en el concepto de cosa cambiante. Esto no quiere decir que las cosas cambiantes sean más fundamentales que el espacio: sólo las categorías correspondientes están ordenadas. La nuestra es, por ende, una teoría relacional completamente desarrollada –no sólo un programa– y, además, se trata de una teoría basada en ideas ontológicas generales y formulada en términos estrictamente objetivos, tal como nos exhorta a hacer la Regla 7 de nuestra metodología filosófica. (Véase la Sección 4 de la Introducción).

Con todo, la nuestra no es la única teoría relacional del espacio posible. Por ejemplo, está la teoría de Basri (1966). Pero la rechazamos en la Sección 1 por tratarse de una teoría de partículas y ser, en consecuencia, incongruente con la física de campos. Además, esa teoría es subjetivista y, por ende, no es congruente con la gnoseología inherente a la perspectiva científica. También está la de Penrose (1971), una teoría relacional del espacio igualmente rigurosa y, además, objetivista. Pero debido a que está basada en el concepto de momento angular, no es lo bastante general como para servir de fundamento a todas las teorías físicas. En cambio, nuestra teoría está basada en ideas extremadamente generales.

Nuestra teoría posee un único rasgo aparentemente insatisfactorio: postula, en lugar de explicar, un espacio tridimensional. (La hipótesis está contenida en el Postulado 6.5). Este supuesto puede parecer arbitrario. Pero no lo es, ya que lo sugiere el comportamiento real de las cosas reales: si las cosas fueran diferentes, el espacio físico podría no ser tridimensional. En otras palabras, la tridimensionalidad del espacio tiene sus raíces en las leyes de las cosas. ¿Cuál sería la dimensionalidad del espacio físico si aquéllas poseyeran («obedecieran») leyes diferentes de las que conocemos? A esta pregunta se le puede dar una respuesta parcial, a saber, en las siguientes líneas. (Para una investigación detallada, véase Penney, 1965). Considérese, por ejemplo, el ubicuo proceso de propagación de ondas de diferentes clases y escríbanse cualesquiera ecuaciones de onda en coordenadas esféricas de una variedad n-dimensional. Cualquier ecuación de este tipo contendrá un término radial con un factor (n–1). Por lo tanto, si el experimento mostrase que las propagaciones de ondas tienen lugar según, por ejemplo, $n = 4$, deberíamos sacar la conclusión de que el espacio físico es cuadridimensional. (Adviértase, dicho sea de paso, que en una teoría no relacional del espacio uno formularía la siguiente pregunta: «¿cómo serían las cosas si el espacio no fuera tridimensional?». Pero esta pregunta sólo puede responderse de manera dogmática). Por consiguiente, al postular un espacio tridimensional, nuestra ontología se inclina ante la experiencia, tal como quería Peirce.

¿Qué sucedería con el espacio si todas las cosas dejaran de existir? La respuesta la proporciona la función de separación (Definición 6.1). Puesto que σ está definida únicamente para pares de cosas y sus valores son conjuntos de cosas, a menos que haya cosas (cambiantes), no hay espacio físico y, por ende, ni geometría filosófica relacional ni geometría física. O sea, un universo vacío carecería de espacio. Asimismo, el universo en bloque, tal como el Uno indiferenciado de Parménides, carecería de espacio.

Este corolario de nuestra geometría filosófica tiene cierta influencia en la interpretación de la teoría relativista de la gravedad. ¿Qué ocurre si en todas las ecuaciones de campo gravitatorio se iguala el tensor de materia a cero? Sin duda, las soluciones caracterizarán una variedad riemanniana: parecería que hay espacio incluso en ausencia de cosas (partículas, campos, etc.). ¿Se trata de una solución físicamente posible? No en nuestra geometría: en ella, sin las cosas, ninguna de las relaciones entre los puntos de la variedad es una relación real. Las relaciones involucradas en una geometría riemanniana (por ejemplo, la relación de distancia) se tornan reales en la medida que son satisfacibles por las cosas. En resumen, las ecuaciones gravitatorias homogéneas correspondientes al universo vacío carecen de significado físico. (Para la noción de contenido fáctico, véase la Sección 3 del Capítulo 5 del Volumen 1 de este *Tratado*). Está bien comprobar que la ontología puede ser de alguna utilidad a la ciencia.

El espacio ordinario, entonces, es tan real como cualquier otra relación. (En realidad, el espacio no es una relación, sino un conjunto de cosas relacionadas o, si se lo prefiere, una estructura relacional: recuérdese la Definición 6.2). Pero al no ser una cosa, el espacio físico no posee eficacia causal. En otras palabras, las relaciones espaciales son relaciones no vinculantes en lugar de ser relaciones vinculantes o acoplamientos. (Para los conceptos de relaciones vinculantes y no vinculantes, véase la Sección 4.1 del Capítulo 5). Vale decir, del mismo modo en que las cosas no actúan sobre el espacio (ya que el espacio no es una cosa), el espacio tampoco reacciona sobre las cosas. Éste es un punto que nuestra teoría comparte con la concepción absolutista de Newton.

Para el físico en ejercicio, que da por sentado el espacio, el espacio es básico y todas las cosas están incluidas o superpuestas, de algún modo, en él. Para el filósofo que sostiene una doctrina relacional del espacio, ninguno de estos objetos es más básico. En particular, en nuestra teoría las cosas se presentan con sus separaciones mutuas y, por consiguiente, ninguna es previa a la otra: no hay ni espacio sin cosas ni cosas sin espacio. Desde luego, esto difiere claramente de la concepción del espacio como un continente, según la cual, aunque no es una cosa, el espacio existe por sí mismo e independientemente de las cosas que contiene. Según nuestra teoría, ni las cosas ni el espacio existen por sí mismos. Sólo existen las cosas espaciadas.

Además, las separaciones o espaciamientos entre las cosas se pueden modificar con los cambios de las propias cosas. En consecuencia, el espacio real está tan en flujo como lo están las cosas. El espacio real es, por ende, una estructura dinámica de la colección de las cosas. El espacio ordinario se puede representar mediante una red elástica o una retícula fluctuante cuyos nodos son las cosas. Pero la temporalidad es tema de la sección siguiente.

3. La duración

3.1. Idea intuitiva

Una duración es la duración de un suceso o proceso: en un universo inmutable no habría tiempo. De igual modo en que el espacio es el espaciamiento de las cosas (Sección 2), el tiempo es el ritmo de los sucesos. (Aristóteles, *Física* IV, 11, 220a 25, llamaba al tiempo *arithmós kinéseos*, la medida del movimiento). Y del mismo modo en que la distancia espacial es la separación entre las cosas, el intervalo temporal es la separación entre diferentes estados. Éste es el germen intuitivo de nuestra teoría relacional del tiempo.

Para hacernos una idea de esta teoría, pensemos en un universo que consta de una única cosa cuyos estados se pueden aplicar al conjunto de los números naturales: puede ser un reloj o un corazón. La historia de este corazón es, grosso modo, la secuencia de sus latidos, y la vida del corazón es el número total de sus latidos. Puesto que en nuestro universo imaginario no hay otros corazones (o relojes), no es posible retardar o acelerar el ritmo de los latidos, ni siquiera no realizar algún que otro latido. El latir origina un tiempo uniforme y moderado, vale decir, los mismos intervalos entre latidos. La coordenada temporal adjunta a este reloj es una función t: $B \to \mathbb{N}$, donde B es el conjunto de latidos y $\mathbb{N}$ el de los números naturales, tal que $t(b) = n \in \mathbb{N}$ para $b \in B$. Interpretamos '$t(b)$' como el instante en el que sucede b. Esta función determina la función de lapso temporal

$$\tau\colon B \times B \to \mathbb{N}, \qquad \text{tal que} \qquad \tau(b, b') = |t(b) - t(b')| = |n\text{-}n'|$$

para $b, b' \in B$. (Claramente, la estructura $\langle B, \tau\rangle$ es un espacio métrico). Si el corazón deja de latir completamente, tanto t como τ pierden su base y el tiempo deja de «existir», vale decir, las relaciones temporales dejan de ser reales (dejan de relacionar sucesos reales). Si a continuación multiplicamos el número de relojes, es posible comparar sus ritmos y, finalmente, escoger el más regular de ellos. Pero éste es un tema de interés para la física y la astronomía, más que para la ontología. Con esto damos por suficiente el trasfondo intuitivo.

3.2. Antes y después

En una teoría relacional del tiempo no podemos aceptar una caracterización puramente matemática de éste, por ejemplo, la variable independiente suprema o el parámetro de un grupo de transformaciones continuas de un parámetro. En otras palabras, en nuestra ontología no hay nada semejante a un tiempo matemático: sólo hay representaciones matemáticas del tiempo. [Véase, sin embargo, Whitrow (1961) para el concepto de tiempo matemático]. La matemática, a diferencia de los matemáticos, es ajena al tiempo: los constructos no son mudables ni estáticos (Corolario 5.1 de la Sección 1.2 del Capítulo 5); en consecuencia, no están ni en el tiempo ni fuera de él. Tampoco serviría una definición del tiempo en términos de los individuos indiferenciados del Capítulo 1, porque no es posible definir espacios de estados ni, a fortiori, espacios de sucesos para ellos. Si queremos definir la duración como una especie de distancia entre estados, necesitamos el concepto de cosa cambiante y, en consecuencia, el de estado.

Nuestro punto de partida será, entonces, el concepto de espacio de estados legal para un objeto concreto, o cosa, de cualquier clase. (Recuérdese la Sección 2.5 del Capítulo 3). En la Sección 2.5 del Capítulo 5 vimos que se pueden ordenar los estados de una cosa con referencia a los estados de una cosa estándar o marco de referencia, como un reloj montado sobre una regla. Tal era un orden *extrínseco*, vale decir, un orden inducido *ab extrínseco* en los estados de la cosa, por el orden natural o intrínseco de los estados de referencia. Pero en realidad, cualquier cosa puede servir como reloj, aun cuando sólo unas pocas de esas cosas sean *buenos* relojes. En otras palabras, los estados de cada cosa son ordenados. A causa de que este orden es intrínseco e independiente de otra cosa, estamos autorizados a identificarlo con el orden temporal. De modo más explícito, supondremos el orden temporal *intrínseco* de los estados de las cosas:

POSTULADO 6.7 Para toda cosa básica $x \in B$ y todo espacio de estados legal $S_{\mathbb{L}}(x)$ para x, hay exactamente una relación de orden $\leqslant$, conectada en $S_{\mathbb{L}}(x)$, tal que para todo $s, s' \in S_{\mathbb{L}}(x)$,

$$s \leqslant s' \quad \text{sii} \quad s' = g(s), \quad \text{donde} \quad g\colon S_{\mathbb{L}}(x) \to S_{\mathbb{L}}(x)$$

es una transformación realmente posible (legal) de $S_{\mathbb{L}}(x)$, vale decir, una transformación que representa un cambio legal de x.

Este supuesto adquiere un sentido ontológico preciso en virtud de su compañero semántico:

POSTULADO 6.8 El conjunto $S_{\mathbb{L}}(x)$ de estados de toda cosa básica $x \in B$ está *ordenado temporalmente* por $\leqslant$. Más aún, para todo $s, s' \in S_{\mathbb{L}}(x)$

(i) *s precede temporalmente* a s' sii $s \leqslant s'$;
(ii) s es *simultáneo* a s' sii $s \leqslant s'$ y $s' \leqslant s$ (es decir, $s \sim s'$).

Las relaciones temporales básicas sólo han sido definidas para los estados de una única cosa. Hasta aquí no disponemos del concepto de relaciones temporales entre estados de cosas diferentes (y, en particular, distantes). Se advertirá, además, que la dilucidación anterior depende de la noción de cambio legal, no de la de causalidad. Nuestros postulados admiten relaciones temporales en un universo estocástico, vale decir, un mundo en el cual todas las leyes son estocásticas. La causalidad es suficiente para la temporalidad y puede ser necesaria para *determinar* cuál suceso precede a otro, pero no es necesaria para que se *produzcan* las relaciones de antes y después. La relación entre precedencia y causalidad es la siguiente:

Para todos los sucesos e y e′, si e causa e′, luego e precede a e′.

Pero la inversa es falsa. En consecuencia, la precedencia en el tiempo no es definible en términos de causalidad y tampoco es posible la táctica inversa. (Véase Bunge, 1959). Por consiguiente, nuestra teoría del tiempo, si bien es relacional, a diferencia de las de Robb (1914, 1921, 1936) y Reichenbach (1928, 1956) no es causal. La nuestra es una teoría nomológica del tiempo.

La relación de equivalencia ~, presentada en el Postulado 6.8(ii), efectúa una partición de $S_{\mathbb{L}}(x)$ en los estados que son simultáneos y los que no lo son. Estos últimos están relacionados por la relación *antes* $<$ o bien por la relación *después* $>$.

Ahora podemos dilucidar las nociones de presente, pasado y futuro de una cosa básica:

DEFINICIÓN 6.8 Sea $S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de estados para una cosa x y llamemos $s_0 \in S_{\mathbb{L}}(x)$ a un estado distinguido de x, el estado *origen* o *cero*. Luego,

(i) el *presente* de $x =_{df} \{s \in S_{\mathbb{L}}(x) | s \sim s_0\}$;
(ii) el *pasado* de $x =_{df} \{s \in S_{\mathbb{L}}(x) | s < s_0\}$;
(iii) el *futuro* de $x =_{df} \{s \in S_{\mathbb{L}}(x) | s > s_0\}$.

Obviamente, tenemos la libertad de escoger el origen s_0 y podemos llamarle *ahora* si así lo deseamos, siempre que no insistamos en que esa palabra designe el «ahora» egocéntrico. En efecto, se puede elegir que s_0 sea el principiante de un proceso de la cosa de interés y todos los observadores interesados pueden estar de acuerdo con esa elección en beneficio de la comodidad. Esto, a pesar de Hugo Bergmann (1929) y de Grünbaum (1967), no implica que el devenir sea irreal y, en consecuencia, que el orden temporal sea convencional. Asimismo, la relatividad de la división de los estados en presente, pasado y futuro respecto de una cosa dada (en nuestra exposición, la propia cosa cuyos estados están siendo divididos) no implica subjetividad alguna. La relatividad y el localismo –tal como muestran las elecciones especiales de cosa y estado inicial– son una cosa, la subjetividad otra totalmente distinta.

La relatividad de los ordenamientos temporales respecto de las cosas no tiene remedio: las dos teorías de la relatividad –la especial y la general– nos han enseñado que cada cosa tiene su tiempo propio, de suerte que no hay un tiempo universal. (Lo habría si el universo pulsara como totalidad, pero no es el caso). En otras palabras, *no hay tiempo absoluto o sin cosas*. Ésta es una generalización del enunciado de la física relativista de que el tiempo es relativo a algún marco de referencia. Creemos que se trata de una generalización justificada porque, tal como se ha señalado anteriormente, casi todo puede considerarse un reloj, ya que se supone que todas las cosas marcan su ritmo de un modo o de otro. Por supuesto, algunas cosas marcan de modo más exacto que otras y, por consiguiente, constituyen mejores relojes. Pero éste es un tema para los metrólogos, astrónomos y físicos atómicos, no para los ontólogos. Desde el punto de vista de los principios ontológicos, cualquier cosa cuyos estados estén ordenados de cierta forma, puede considerarse un reloj, sea que realmente se lo use como tal, sea que no se lo utilice en absoluto. El orden en cuestión es el orden parcial estricto, vale decir, el asimétrico y transitivo, de suerte que no hay dos estados simultáneos. En consecuencia, adoptaremos la

DEFINICIÓN 6.9 Una cosa $f \in \Theta$ es un *reloj potencial* sii cada uno de sus espacios de estados $S_{\mathbb{L}}(f)$ está ordenado parcial y estrictamente.

DEFINICIÓN 6.10 Sea f un reloj potencial con su espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(f) = Tf$.

Luego,

(i) Tf se llama *intervalo temporal* de f;

(ii) un intervalo cualquiera de Tf se llama *momento-f* y

(iii) un miembro cualquiera de Tf se llama *instante-f*.

Cada cosa y, en particular, cada reloj, marca su propio ritmo. Sin embargo, las cosas no son mónadas: recuérdese el Postulado 5.10 de la Sección 4.1 del Capítulo 5. O sea, cada cosa está conectada con alguna otra (pero de ningún modo con todas las demás). Además, algunas de esas conexiones o acoplamientos son de la clase de la información física, de suerte que pueden establecer relaciones entre los ordenamientos temporales locales. (Por ejemplo, si dos cuerpos se mueven a velocidad constante uno relativamente al otro, sus coordenadas temporales están relacionadas por una transformación de Lorentz). Esto nos ofrece una noción corregida de la universalidad temporal: los órdenes temporales son universales no porque sean los mismos para todas las cosas –que no lo son– sino porque, dentro de ciertos límites, son mutuamente traducibles. La clase de traducción está especificada por la convención siguiente y por el axioma subsiguiente:

DEFINICIÓN 6.11 Sea $f \in \Theta$ un reloj potencial [Definición 6.9] con un espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(f)$ y $x \in \Theta$ una cosa cualquiera conectable a f, con un espacio de estados $S_{\mathbb{L}}(x)$. Luego,

(i) una *asignación f-temporal* a los estados de x es una inyección

$$\varphi_f\colon S_{\mathbb{L}}(f) \to S_{\mathbb{L}}(x)$$

(ii) una asignación f-temporal φ_f es *fiel* sii, para todo $t, t' \in S_{\mathbb{L}}(f)$

$$t \leqslant t' \Rightarrow \varphi_f(t) \leqslant \varphi_f(t').$$

El axioma que sigue garantiza que las asignaciones temporales sean siempre posibles, de manera tal que todo reloj potencial pueda ser «utilizado» por otra cosa cualquiera conectable a él:

POSTULADO 6.9 Sea $x \in \Theta$ una cosa cualquiera. Luego, existe un reloj potencial $f \in \Theta$ y una asignación temporal fiel $\varphi_f\colon S_{\mathbb{L}}(f) \to S_{\mathbb{L}}(x)$.

En otras palabras, los estados de una cosa cualquiera pueden ser ordenados por los estados (de referencia) de un reloj potencial conectable a esa cosa dada.

Y hasta aquí llegamos con el orden temporal y su traducibilidad universal (dentro de ciertos límites). A continuación construiremos el concepto de duración.

3.3. La duración

La física relativista enseña que las duraciones son dependientes del marco de referencia. Un proceso cualquiera de una cosa posee tantas duraciones como relojes potenciales (no equivalentes) y conectables a esa cosa dada. (Y la más breve de todas esas duraciones es la relativa a la cosa misma o al marco adjunto a ella. O sea, la duración más breve es la llamada duración *propiamente dicha*, vale decir, la relativa a la cosa que experimenta el proceso de interés). En consecuencia, nuestra teoría ontológica del tiempo debe tener en cuenta la relatividad de la duración.

Asignaremos a cada suceso o proceso de una cosa una colección de estados de referencia contiguos, vale decir, un intervalo del intervalo temporal de un reloj. (Véase la Figura 6.5). La asignación la realiza la

DEFINICIÓN 6.12 Sea T_f el lapso temporal de un reloj f y sea $E_{\mathbb{L}}(x) \subseteq S_{\mathbb{L}}(x) \times \times S_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de sucesos para una cosa x conectable a f. La duración relativa a f, o f-duración, es la función

$$\tau_f\colon E_{\mathbb{L}}(x) \to 2^{T_f}$$

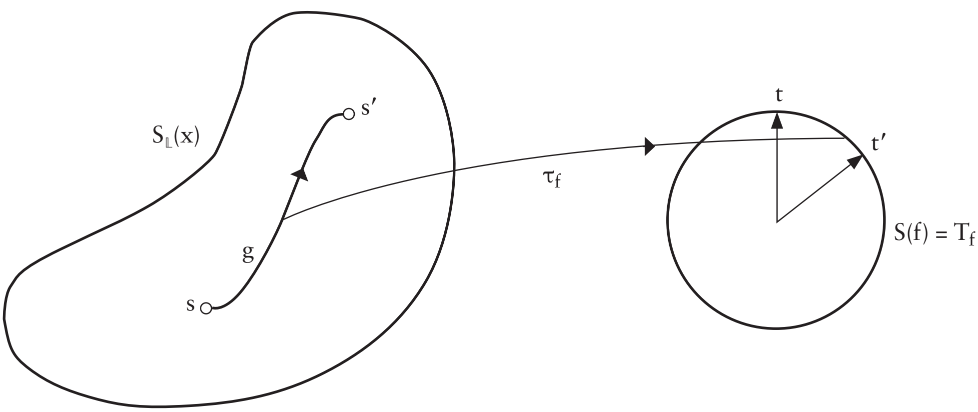


Figura 6.5. Al proceso $\langle s, s', g\rangle \in E_{\mathbb{L}}(x) \subseteq S_{\mathbb{L}}(x) \times S_{\mathbb{L}}(x)$ en una cosa x se le asigna el intervalo $[t, t'] \subset T_f$ de estados de referencia.

que aplica sucesos a los intervalos de los estados de referencia, tal que para todo suceso $e = \langle s, s', g\rangle$, $e' = \langle s'', s''', h\rangle \in E_{\mathbb{L}}(x)$, donde g y h son transformaciones legales de $S_{\mathbb{L}}(x)$,

(i) si $s \sim s'$, luego $\tau_f(e) = \varnothing$;

(ii) $s < s'$ o $s' > s$, luego $\tau_f(e) \supseteq \varnothing$;

(iii) si e y e' se componen para formar $e'' = \langle s, s''', g \circ h \rangle \in E_{\mathbb{L}}(x)$, luego,

$$\tau_f(e) \cup \tau_f(e') = \tau_f(e'')$$

$\tau_f(e)$ se llama *duración* de e relativa a f.

La función de duración nos permite definir de manera precisa (si bien, todavía no de manera cuantitativa) diversas nociones de amplio uso:

DEFINICIÓN 6.13 Sea τ_f la función de duración asociada a un par reloj-cosa $\langle f, x \rangle$. Luego, para dos sucesos cualesquiera $e, e' \in E_{\mathbb{L}}(x)$ que acontecen en la cosa x,

(i) e es *instantáneo* (o un *suceso puntual*) sii $\tau_f(e) = \varnothing$;

(ii) e es *temporalmente extenso* (o *toma tiempo*) sii e no es instantáneo;

(iii) *e dura tanto como e'* relativamente a $f =_{df} \tau_f(e) = \tau_f(e')$;

(iv) *e dura más que e'* relativamente a $f =_{df} \tau_f(e) \supset \tau_f(e')$;

(v) e y e' son *temporalmente contiguos* relativamente a $f =_{df} \tau_f(e) \cap \tau_f(e') \neq \varnothing$;

(vi) e y e' están *temporalmente separados* [*temporally detached*] sii no son temporalmente contiguos.

Una transición idéntica $s \to s$ o no-suceso es, desde luego, trivialmente instantánea. Pero también puede suceder que $\tau_f(s, s', g) = \varnothing$ aun si $g(s) \neq s$. O sea, podrían existir sucesos instantáneos propiamente dichos, vale decir, cambios que no tomaran ningún tiempo. Si tales cambios existen no lo sabemos ni necesitamos saberlo para construir nuestra teoría del tiempo, porque los valores de la función de duración son intervalos entre $\varnothing$ y T. Por consiguiente, no tenemos que afrontar la dificultad que encuentran otras teorías del tiempo –tales como las de Russell y la de Whitehead– basadas en el supuesto de que todos los sucesos pueden descomponerse en sucesos puntuales (instantáneos). (Se trata de una dificultad, porque según las teorías cuánticas, hay sucesos elementales temporalmente extendidos).

Ahora disponemos de todo lo necesario para formular de manera precisa el núcleo de la teoría relacional del tiempo:

DEFINICIÓN 6.14 Sea x una cosa y $E_{\mathbb{L}}(x)$ un espacio de sucesos para x. Además, sea τx la función de duración relativa a x. [Vale decir, x es ahora su propio marco de referencia o reloj]. Luego, llamaremos *tiempo local* de (o relativo a) x, al par ordenado $\langle E_{\mathbb{L}}(x), \tau_x \rangle$.

Si $E_{\mathbb{L}}(x)$ se redujera a cero, es decir, si x fuera inmutable, la función de duración perdería su base y no habría tiempo. En otras palabras, inferimos el

COROLARIO 6.3 Allí donde no hay cosas cambiantes, tampoco hay tiempo.

En consecuencia, estamos autorizados a llamar *intemporal* o fuera del tiempo a una cosa en el preciso caso en que ésta sea inmutable. Pero, por el Postulado 5.11 de la Sección 4.1 del Capítulo 5, sabemos que no hay cosas inmutables. Por consiguiente, las cosas intemporales no existen. Por tanto, si algo parece intemporal es que ha sido investigado de manera inadecuada.

Haremos hincapié en lo siguiente. Puesto que $E_{\mathbb{L}}(x)$ es el conjunto de sucesos legales de la cosa x, nuestro concepto de tiempo depende de las nociones de cosa, cambio y ley. En una cosa caótica (vale decir, ilegal) no habría tiempo. (Recuérdese la distinción entre orden estocástico o regularidad estocástica, por un lado, y caos por el otro: cf. Sección 6.3 del Capítulo 4). Si nos es posible distinguir relaciones temporales incluso en un conjunto arbitrario de sucesos, tales como los que componen una fracción de nuestra corriente experiencial, podemos hacerlo sólo relativamente a un conjunto de sucesos regulares, tales como los de nuestro reloj biológico.

Adviértase que la Definición 6.14 admite tantos tiempos como cosas haya. El supuesto de que todos estos tiempos son el mismo, vale decir, que el ritmo de los sucesos es el mismo relativamente a todas las cosas, es la hipótesis del *tiempo universal*. No hemos adoptado este supuesto porque deseamos que nuestra metafísica sea compatible con la física y ésta sólo admite los tiempos locales. No obstante, una teoría relacional del tiempo que incluya la hipótesis del tiempo universal aún sería rela*cional*, aunque no rela*tivista*.

Hasta aquí nuestros conceptos de tiempo han sido cualitativos. Podemos metrizar fácilmente el concepto de duración, a condición de que tomemos prestado el concepto de escala cronométrica-*cum*-sistema de unidades de los fundamentos de la física. En efecto, la medida precisa de una duración depende del modo en que se asigne números a las sucesivas etapas de un proceso, vale decir, del sistema cronométrico. Además, puesto que las unidades de tiempo son convencionales –como todas las unidades– se las puede generar ad líbitum para formar todo el conjunto U_t. Medidos según cierta unidad de tiempo $u \in U_t$, se puede considerar que la duración de un suceso $e = \langle s, s', g \rangle$ en una cosa x relativamente a un reloj f, es el valor en $\langle e, u \rangle$ de cierta función T_f que definiremos a continuación, es decir, $t = T_f(e, u)$. Esta función es caracterizada por la

DEFINICIÓN 6.15 Sea f un reloj y x una cosa, posiblemente la misma que f, con un espacio de sucesos $E_{\mathbb{L}}(x)$. Además, sea τ_f la función de duración para el par dado $\langle f, x \rangle$. Luego, la correspondiente *duración métrica* es la aplicación

$$t_f\colon E_{\mathbb{L}}(x) \times U_t \rightarrow \mathbb{R}$$

que satisface las condiciones de que, para toda unidad fija $u \in U_t$ y dos sucesos cualesquiera $e = \langle s, s', g \rangle$, $e' = \langle s'', s''', h \rangle \in E_{\mathbb{L}}(x)$,

(i) $t_f(e, u) \geqslant 0$ sii $\tau_f(e) \supseteq \varnothing$;

(ii) si e y e' se componen para formar $e'' = \langle s, s''', g \circ h \rangle \in E_{\mathbb{L}}(x)$, luego

$$t_f(e, u) + t_f(e', u) = t_f(e'', u).$$

Claramente, las duraciones métricas son dependientes de un marco, lo cual es congruente con la física relativista. Adviértase también que la cláusula (i) no excluye las duraciones negativas, sino que únicamente afirma que si el estado s precede al estado s', la duración de este suceso no es negativa.

Está claro que para toda $u \in U_t$, la estructura $\langle E_{\mathbb{L}}(x), t_f \rangle$ es un espacio métrico. Esto justifica que llamemos a $t_f(e, u)$ la *duración métrica* del suceso e, relativa al marco f, en unidades u.

Derivaremos un par de consecuencias directas. Primero, el

COROLARIO 6.4 La duración de un suceso puntual es nula: para todo marco f,

Si $\tau_f(e) = \varnothing$, luego $t_f(e, u) = 0$ para todo $u \in U_t$.

Demostración Por la cláusula (ii) de la Definición 6.15 aplicada al caso del cambio idéntico o suceso impropio. En realidad, en este caso $2t_f(e, u) = t_f(e, u)$, de donde $t_f(e, u) = 0$.

COROLARIO 6.5 La duración métrica es un intervalo orientado [o conjunto dirigido]: para un marco cualquiera f, una unidad cualquiera $u \in U_t$ y todos los estados $s, s' \in S_{\mathbb{L}}(x)$ que forman los sucesos concebibles $e = \langle s, s', g\rangle$ y $e' = \langle s', s, g^{-1}\rangle$,

$$t_f(\langle s, s', g\rangle, u) = -t_f(\langle s', s, g^{-1}\rangle, u).$$

Demostración Por la cláusula (ii) y el Corolario 6.4 al establecer la igualdad $s''' = s$.

Esta última consecuencia expresa la llamada *anisotropía* o *asimetría temporal*, acerca de la cual se han escrito tantas cosas absurdas. No hay ningún misterio en ella y nada tiene que ver con los procesos irreversibles. En efecto, el Corolario 6.5 es sólo una consecuencia de una convención, a saber, de la Definición 6.15, la cual asigna duraciones métricas positivas a los cambios que acontecen en el orden natural y duraciones negativas a sus inversiones conceptuales. (También podríamos haber elegido el conteo regresivo). Más sobre este tema en la Sección 5.1.

4. El espaciotiempo

4.1. El espaciotiempo, la red básica de los sucesos

A partir de la revolución de Einstein de 1905, el espacio y el tiempo dejaron de considerarse independientes: ahora se los trata como dos aspectos de una misma 4-variedad llamada *espaciotiempo*. En consecuencia, debemos reemplazar las teorías relacionales separadas del espacio y del tiempo por una teoría unificada del espaciotiempo. Según nuestro punto de vista relacional, esta unificación formal no es un mero truco matemático, sino que formula la idea de que el espaciotiempo es generado por las cosas cambiantes. Antes de pasar al desarrollo matemático, ofreceremos la idea intuitiva.

Imagínese un universo en miniatura compuesto sólo por dos partículas inicialmente superpuestas en el origen (véase la Figura 6.6). Repentinamente, una de las partículas, llamémosle p, comienza a moverse, en tanto que la otra permanece en 0. (En realidad, dado que no existe ninguna otra cosa que pueda servir como marco de referencia, sólo se mueven de forma relativa la una a la otra). Al moverse p, el borde del espaciotiempo avanza. Cuando p alcanza la posición x_1, el espaciotiempo abarca el rectángulo interior. Esta región se expande hasta el rectángulo exterior al llegar p a la posición x_2. Si p se detiene aquí, el borde del espaciotiempo no se mueve más y el rectángulo exterior permanece congelado: el sistema tiene pasado, pero no futuro.

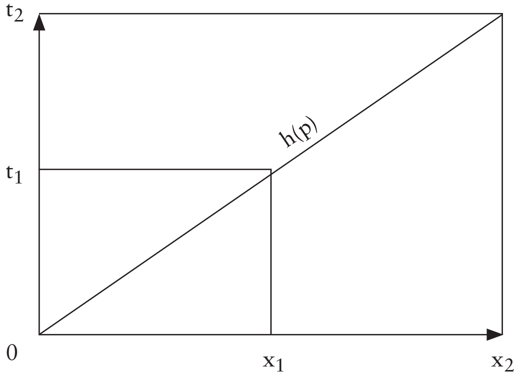


Figura 6.6. El margen del espaciotiempo avanza a medida que la partícula p se mueve, alejándose de la partícula localizada en 0.

Desarrollaremos nuestra concepción del espaciotiempo sobre la base de los conceptos de suceso y de separación espaciotemporal entre sucesos que acontecen en cosas que pueden ser diferentes. Por tanto, definiremos el espaciotiempo como cierto conjunto de sucesos junto con sus separaciones espaciotemporales. Sin embargo, este nuevo concepto de separación se basará en los conceptos de separación de las cosas (Definición 6.1) y de duración de los sucesos (Definición 6.12). Esta estrategia nos permitirá avanzar con bastante rapidez.

Comenzamos definiendo la distancia espacial entre sucesos como la separación entre las cosas allí donde se presentan:

DEFINICIÓN 6.16 Sean $x, y \in B$ dos cosas básicas, posiblemente idénticas, con espacios de sucesos $E_{\mathbb{L}}(x)$ y $E_{\mathbb{L}}(y)$ respectivamente, relativos a un marco común f. Además, supóngase que las tres cosas son conectables. Luego, la *separación espacial* entre los sucesos de x y los de y es igual a la separación entre las cosas correspondientes. En símbolos,

$$\delta_{sf}: E_{\mathbb{L}}(x) \times E_{\mathbb{L}}(y) \rightarrow 2^{B}$$

tal que

$$\delta_{sf}(e, e') = \sigma(x, y) \quad \text{para} \quad e \in E_{\mathbb{L}}(x) \quad \text{y} \quad e' \, E_{\mathbb{L}}(y).$$

Si las cosas no son conectables –por ejemplo, mediante señales de alguna clase– luego la separación entre sucesos no está definida. Y si las cosas coinciden, entonces las cosas no están separadas espacialmente. En efecto, por el Teorema 6.1(i), si $x = y$, $\delta_{sf}(e, e') = \sigma(x, x) = \{x\}$. Adviértase, por último, que el subíndice f que aparece en la función de separación de sucesos, falta en la función de separación de cosas. La razón de ello es la siguiente. Mientras que los sucesos son relativos a marcos, sus portadoras (las cosas) no lo son. Piénsese en un emisor moviéndose hacia un receptor estacionario, o sea, moviéndose respecto de cierto marco de referencia. La longitud de onda de la señal emitida difiere de la propia de la señal recibida (efecto Doppler). En cambio, el conjunto de las cosas que se pueden interponer entre los dos cuerpos es invariante respecto del marco.

A continuación definiremos la distancia temporal entre dos sucesos como el lapso entre el estado final del primero y el estado inicial del segundo. (Aquí presuponemos el Postualdo 5.8 de la Sección 3.2 del Capítulo 5, vale decir, que todo cambio posee un principio y un final). Más exactamente, convendremos la

DEFINICIÓN 6.17 Sean $x, y \in B$ dos cosas básicas, posiblemente idénticas, con espacios de sucesos $E_{\mathbb{L}}(x)$ y $E_{\mathbb{L}}(y)$ respectivamente, relativos a un marco común f, con estados en $S(f)$. Además, supóngase que las tres cosas son mutuamente conectables. Luego, la *separación temporal* entre los sucesos de x y aquellos de y es la función

$$\delta_{tf}: E_{\mathbb{L}}(x) \times E_{\mathbb{L}}(y) \rightarrow 2^{S(f)}$$

tal que si $e \in E_{\mathbb{L}}(x)$ y $e' \in E_{\mathbb{L}}(y)$,

$$\delta_{tf}(e, e') = \tau_f \, (\text{estado final de } e, \text{ estado inicial de } e').$$

Ahora bien, las dos funciones de separación δ_{sf} y δ_{tf} se pueden considerar como otras tantas proyecciones de una tercera función $\Delta_f = \delta_{sf} \times \times \, \delta_{tf}$ determinada por la primera de acuerdo con el siguiente diagrama:

$$\begin{tikzcd}
& \mathrm{E}_{\mathbb{L}}(\mathrm{x}) \times \mathrm{E}_{\mathbb{L}}(\mathrm{y}) \arrow[dl, "\delta_{\mathrm{sf}}"'] \arrow[d, "\Delta_{\mathrm{f}}"] \arrow[dr, "\delta_{\mathrm{tf}}"] & \\
2^{\mathrm{B}} & 2^{\mathrm{B}} \times 2^{\mathrm{S(f)}} \arrow[l] \arrow[r] & 2^{\mathrm{S(f)}}
\end{tikzcd}$$

De manera más explícita, proponemos la

DEFINICIÓN 6.18 Sean $x, y \in B$ dos cosas básicas con espacios de sucesos $E_{\mathbb{L}}(x)$ y $E_{\mathbb{L}}(y)$ respectivamente, relativos a un marco de referencia común f, con estados en $S(f)$. Además, supóngase que las tres cosas son mutuamente conectables. Luego, llamaremos *separación* (o *intervalo*) *espaciotemporal* a la función

$$\Delta_f = \delta_{sf} \times \delta_{tf}: E_{\mathbb{L}}(x) \times E_{\mathbb{L}}(y) \rightarrow 2^B \times 2^{S(f)}$$

tal que

$$\Delta_f\,(e, e') = \langle \delta_{sf}(e, e'), \delta_{tf}(e, e') \rangle \text{ para } e \in E_{\mathbb{L}}(x),\ e' \in E_{\mathbb{L}}(y).$$

Ahora tenemos todo lo que necesitamos para definir el concepto relacional de espaciotiempo local del filósofo:

DEFINICIÓN 6.19 Sea $B_0 \subset B$ un conjunto de cosas básicas y llámese f a un marco de referencia común. Además, supóngase que todas estas cosas, es decir, $B_0 \cup \{f\}$, son mutuamente conectables. Por último, llámese E_f al espacio de sucesos relativo a f de la agregación $[B_0]$ de cosas básicas y Δ_f a la correspondiente separación espaciotemporal. Luego, el par ordenado $\langle E_f, \Delta_f \rangle$ se llama *espaciotiempo-f* (o *espaciotiempo local de marco f*).

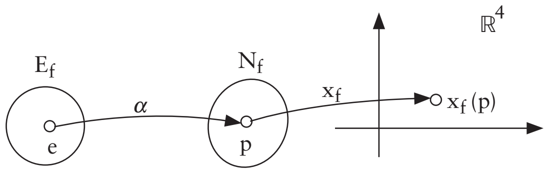
En la física se define una estructura mucho más compleja, a saber, una 4-variedad conectada M^4_f. No construiremos M^4_f a partir del espacio-f de sucesos. Pero se puede hacer siguiendo una estrategia semejante a la utilizada en la Sección 2 para construir el espacio del físico. En otras palabras, es posible aplicar los sucesos conectables con un marco f y sus separaciones mutuas sobre un mapa de espaciotiempo local M^4_f. Y una vez que éste ha sido definido para un marco arbitrario f, se puede componer el atlas formado por todos esos mapas locales, vale decir, el espaciotiempo global o cósmico M^4.

Y hasta aquí llega nuestro esbozo de una teoría relacional del espaciotiempo. Esta teoría no sólo es relacional, sino que también es compatible con la física relativista por cuanto *(a)* supone que la estructura del espaciotiempo depende de su moblaje y *(b)* no postula una estructura global. Sin embargo, la teoría no es relativista: no incluye ninguna de las leyes especiales que caracterizan a las diferentes teorías relativistas, tales como por ejemplo la independencia de la velocidad de la luz respecto del marco de referencia o las ecuaciones del campo gravitatorio. La teoría relacional del espaciotiempo esbozada en las líneas anteriores es sólo un componente del trasfondo de cualquier teoría relativista general, si acaso uno se interesa por añadir tal trasfondo ontológico. Normalmente, los físicos no lo hacen: tienen la costumbre de postular la 4-variedad sin investigar sus raíces en los sucesos. (Sin duda, llaman *sucesos* a los puntos de la variedad, pero no lo hacen de manera consistente, ya que esta definición presupone una biyección entre los sucesos y los puntos del espaciotiempo y, en realidad, no hay tal biyección, es decir, no quieren decir que algo está ocurriendo en cada punto del espaciotiempo). Y viceversa, una teoría relacional del espacio y el tiempo puede no ser congruente con la física relativista. Así pues, la original teoría de Robb (1914), basada en un conjunto de sucesos puntuales y en una relación de precedencia absoluta (independiente del marco de referencia) es relacional, pero no es compatible con la física relativista. En resumidas cuentas, la teoría del espaciotiempo que hemos bosquejado en esta subsección es relacional y compatible con la relatividad, pero no es relativista. Únicamente la relatividad es relativista, además de lo cual es relacional, siempre que esté basada de manera explícita en una teoría relacional del espaciotiempo.

4.2. Posición en el espaciotiempo

Es probable que los sucesos, sin importar cuán elementales sean, no sean puntuales sino más bien que ocupen regiones no tendientes a cero del espaciotiempo. Esto es, que el espacio de sucesos E_f asociado al marco f se debe aplicar al conjunto potencia de la f-variedad M_f^4 en lugar de a la propia M_f^4. No obstante, en beneficio de la simplicidad, podemos simular que los sucesos son puntuales, de suerte tal que a cada suceso $e \in E_f$ se le pueda asignar un punto p del correspondiente mapa local de M_f^4. Haremos aquí este supuesto simplificador porque nos interesa aclarar ciertas ideas y dejaremos al lector la tarea de refinarlo.

Supondremos, por tanto, que el espaciotiempo de sucesos E_f se puede aplicar sobre un mapa M_f^4. Ahora bien, por la definición de variedad, ésta puede aplicarse localmente, a su vez, sobre un conjunto de cuaternas ordenadas de números reales. En consecuencia, mediante la composición de los dos mapas podemos asignar números a los sucesos. Podemos llamar a esto coordenación espaciotemporal de los sucesos. La esencia de ello se muestra en la Figura 6.7, donde 'N_f' designa un subconjunto abierto de M_f^4.



$$\begin{tikzcd} E_f \arrow[r, "\alpha"] \arrow[dr, "X_f"'] & N_f \arrow[d, "x_f"] \\ & \mathbb{R}^4 \end{tikzcd}$$

(b)

Figura 6.7 *(a)* Aplicación de la imagen N_f de E_f sobre los números y *(b)* composición de los mapas α y x_f para formar el mapa X_f. Este último es una coordenada física, en tanto que x_f es una coordenada geométrica. Mientras que α es inyectiva, x_f es biyectiva. En consecuencia, si bien todo suceso está apareado a una cuaterna de números reales, la inversa es falsa: puede haber puntos del espaciotiempo en los que nada ocurre. (Esto es imposible, según nuestra ontología, pero las teorías científicas son parciales y la mayoría de ellas no supone que sucede algo en cada punto del espaciotiempo).

En otras palabras, para todo marco de referencia f existe un sistema de coordenadas $\langle M_f^4, x_f \rangle$ que representa a f, donde x_f, la función de coordenada local, es un homeomorfismo que aplica un subconjunto abierto N_f de M_f^4 al espacio cartesiano $\mathbb{R}^4$. Este homeomorfismo asigna a cada *punto* $p \in N_f$ una cuaterna de números reales llamada *valores de coordenadas* de p relativos a f:

$$x_f(p) = \langle x_1(p), x_2(p), x_3(p), x_4(p)\rangle, p \in N_f \subset M_f^4.$$

(La elección de cualquiera de las cuatro funciones de coordenadas como coordenada temporal es convencional, pero una de ellas tiene que ser interpretada como coordenada temporal).

En cambio, el valor de la composición de x_f y α, es decir,

$$X_f(e) = (x_f \circ \alpha)\ (e), \text{ donde } e \in E_f,$$

es igual a la localización espaciotemporal del *suceso e* relativamente a f. Nótese la diferencia –rara vez advertida– entre las funciones de coordenadas geométricas x_f y las funciones de coordenadas físicas X_f. (El plural es apropiado porque para cada f hay cuatro funciones de coordenadas de cada clase). La primera localiza *constructos*, la segunda localiza los *sucesos* representados por esos constructos. Puesto que α no es sobreyectiva, X_f tampoco lo es, vale decir, hay puntos y cuaternas de reales que no representan ningún suceso. Pero a causa de que α y x_f (y, por ende, también X_f) son funciones, *todo suceso está en algún lugar del espaciotiempo* (*relativamente a un marco de referencia*). Además, a causa de que todo suceso es un cambio de alguna cosa, *todas las cosas están en algún lugar (relativo a un marco de referencia*).

En la actualidad damos por supuesto que, aun si el espacio y el tiempo fueran absolutos –o sea, si existiesen por sí mismos– éste no es ni sería el caso de la posición (en el espacio y en el tiempo). Pero la idea de que los lugares son relativos a marcos de referencia no surgió fácilmente. En todas las cosmologías arcaicas y antiguas el lugar era considerado absoluto y único; se suponía que todo ocupaba un lugar definido en el espacio y que todo suceso ocurría en un momento del tiempo, asimismo independiente de todo marco de referencia. Estas ideas no sólo están en Aristóteles, sino en autores tan recientes como Strawson (1959, pp. 22, 25-26). El reconocimiento por haber exactificado la noción de lugar relativo a un sistema de coordenadas se otorga, normalmente, a Descartes. Galileo y sus seguidores propusieron la noción de marco de referencia físico, al cual consideraban como representable mediante un sistema de coordenadas, pero no idéntico a éste. Del mismo modo, Galileo y sus seguidores nos mostraron que las cosas y los sucesos no poseen lugares absolutos o, de forma equivalente, que toda cosa y todo suceso particulares tienen tantos lugares como marcos de referencia, vale decir, un número, en principio, infinito. Estos desarrollos, originados en Descartes y Galileo, dejaron a un lado el principio de que todas las cosas y todos los sucesos poseen u ocupan un lugar único y, por ende, absoluto. En nuestro propio siglo,[#] Einstein coronó esos desarrollos echando por tierra el axioma de que cada hecho acontece relativamente a todo marco de referencia (y no sólo relativamente a los marcos conectables) y, por consiguiente, que ocurre en un único instante absoluto, independientemente de todo marco de referencia.

Otros desarrollos que completaron el abandono del principio de *Un hecho-un lugar en el espacio y el tiempo*, fueron los siguientes. Primero, Newton hipotetizó que la gravedad puede actuar en todas partes, por lo cual no tiene un lugar único o natural. Segundo, Faraday probó que la electricidad y el magnetismo pueden, asimismo, extenderse casi a cualquier sitio. Tercero, se ha mostrado que diferentes bosones (por ejemplo, los fotones) tienen la capacidad de ocupar el mismo sitio. Cuarto, las cosas cuánticas –sean partículas o sean campos– no parecen ocupar regiones espaciales nítidas, es decir, no tienen fronteras nítidas. Estos descubrimientos han refutado los viejos principios referentes al lugar y han reducido la importancia de la categoría de lugar. Desarrollos paralelos en la gnoseología han devaluado las nociones de aquí, allí, ahora y después. Estos conceptos han resultado ser particulares egocéntricos (Russell, 1942) en lugar de ítems objetivos. O sea, sólo tienen sentido en relación con un marco de referencia muy particular: el yo. Elimínese a todos los sujetos y no quedará traza del aquí o del allí, del ahora o el después. Ahora se supone que el espaciotiempo sobrevivirá la hecatombe porque, pese a Kant, no es fenoménico.

Entonces, el lugar en el espaciotiempo se considera relativo a algún marco de referencia. Puesto que es relativa, la localización en el espacio-

[#] Se refiere, desde luego, al siglo XX. [N. del T.]

tiempo no es una propiedad intrínseca de las cosas y los sucesos. Y dado que no es intrínseca ni causalmente eficaz, el lugar en el espaciotiempo no es esencial *per se*. En otras palabras, los valores de coordenadas son etiquetas bastante arbitrarias. Lo que sí puede ser de importancia no es el lugar que el mapeo α asigna a un suceso ni, en consecuencia, las posiciones relativas de los puntos y regiones en la variedad espaciotemporal, sino las conexiones o vínculos entre las cosas. En particular, el que una cosa a esté cerca de la cosa b carece de importancia, a menos que tal cercanía haga posible que a actúe sobre b o viceversa.

Para resumir. La localización en el espaciotiempo es tanto relativa a un marco de referencia como objetiva. Es importante desde el punto de vista gnoseológico porque nos permite individuar o identificar las cosas y los sucesos que, excepto por su posición espaciotemporal diferente, podrían ser iguales (vale decir, «sólo numéricamente distintos», como solía decirse). Pero la localización espaciotemporal es arbitraria en la medida en que la elección del marco de referencia es arbitraria dentro de ciertos límites amplios. En consecuencia, desde el punto de vista ontológico su importancia es secundaria. Tanto es así que las leyes básicas son invariantes con respecto a los cambios de posición espaciotemporal, lo cual equivale a decir que las coordenadas son artefactos. Pero éste ya es tema de la siguiente sección.

4.3. Cambio en el espaciotiempo

El cambio en general se puede describir sin la ayuda de ningún concepto de espacio y tiempo: véase el Capítulo 5. Pero hay clases específicas de cambio, tales como el cambio de lugar (relativo a algún marco de referencia) que requieren, desde luego, de algunos conceptos de espacio y tiempo. Lo primero que hay que hacer para describir el movimiento de una cosa (el cambio local de Aristóteles) es modelizarla como una región espacial o bien como un trozo de espaciotiempo (véase la Figura 6.8).

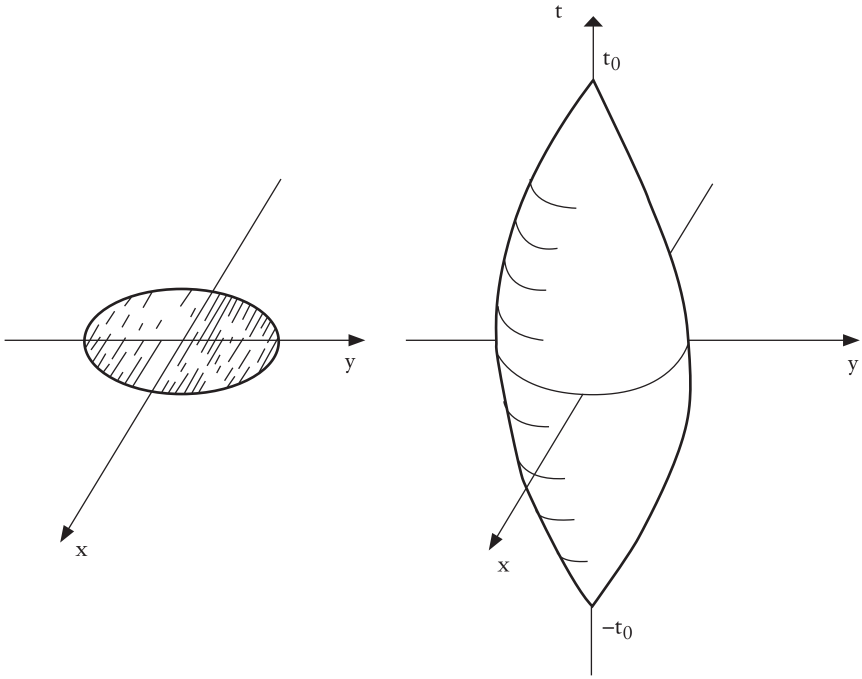


Figura 6.8. Crecimiento y decadencia de una cosa con forma de disco.
(a) Representación espacial de una cosa en su estado de mayor bulto.
(b) Representación espaciotemporal de la historia de una cosa, desde su nacimiento en $-t_0$ hasta su extinción en t_0. La cosa como totalidad no se mueve relativamente al marco de referencia elegido.

Por consiguiente, el movimiento se describe como un cambio de lugar, a lo largo del tiempo, de algunos o todos los puntos que componen la cosa, puntos que, a diferencia de los propios del espacio vacío, son localizados con ayuda de funciones de coordenadas físicas X_f (Sección 4.2).

Al construir un modelo de una cosa en movimiento, partimos de la Definición 3.6 de esquema funcional, en la Sección 1.4 del Capítulo 3. Un esquema funcional de una cosa X es un modelo de la cosa X_m consistente en un par ordenado $X_m = \langle M, \mathbb{F} \rangle$, donde M es el dominio sobre el cual está definida la función $\mathbb{F}$. Esta última es, por lo habitual, dependiente de un marco y consiste en una n-tupla de funciones, normalmente funciones de variable real. Obtendremos un modelo mecánico si establecemos que M representa el espacio, o el espaciotiempo, y alguna de las componentes de $\mathbb{F}$ representan las coordenadas físicas de la cosa (relativas al marco de referencia dado) en el sentido de la Sección 4.2. Los valores de estas funciones de coordenadas difieren de cero únicamente en los lugares (del espacio o el espaciotiempo) en los cuales la cosa está. Más precisamente, estableceremos la

DEFINICIÓN 6.20 Sea $X_m = \langle M, \mathbb{F}\rangle$ un modelo funcional de una cosa X relativamente a un marco de referencia f [que está presente en la propia construcción de $\mathbb{F}$]. Este modelo es un *modelo mecánico* en el preciso caso en que

(i) $M = N_f \subset M_f^4$ = el mapa espaciotemporal adjunto a f;

(ii) algunas componentes de la función de estado $\mathbb{F}$ son coordenadas físicas que sirven para localizar las partes de la cosa:

$$X_f: N_f \to \mathbb{R}^4 \quad \text{o} \quad X_f: N_f^3 \times T_f \to \mathbb{R}^4$$

donde N_f^3 es una proyección tridimensional de N_f.

En la mayoría de las teorías está disponible la segunda elección de las coordenadas de posición, de suerte tal que un valor general del vector de posición sería

$$X_f(x_f, t) = \langle x, y, z\rangle \in \mathbb{R}^3.$$

Adviértase que la coordenada física depende de la coordenada geométrica. Los valores de ambas funciones coinciden únicamente allí donde está la cosa. Sólo en las teorías muy especiales, tales como la mecánica clásica de partículas, X_f no depende de x_f, sino de t.

Un modelo mecánico de una clase especial es el modelo cinemático: en él todas las funciones de estado son coordenadas físicas. O sea, tenemos la

DEFINICIÓN 6.21 Sea $X_m \langle N_f, \mathbb{F}\rangle$ con $N_f \subset M_f^4$ un modelo mecánico de una cosa X. Este modelo es un *modelo cinemático* sii $\mathbb{F} = X_f$.

Se puede considerar el concepto de movimiento, o cambio mecánico, como una especificación del concepto general de historia propuesto en la Definición 5.27 de la Sección 3.2 del Capítulo 5, tal como lo muestra la

DEFINICIÓN 6.22 Sea $X_m \langle N_f, \mathbb{F}\rangle$ con $N_f \subset M_f^4$ un modelo mecánico de una cosa X relativamente a un marco de referencia f y llámese X_f a las funciones de coordenadas de posición de $\mathbb{F}$. Además, llámese T_f a la proyección temporal del espacio de estado $S(f)$ de marco de referencia f. Luego, el *movimiento* (o *cambio mecánico*) *de X relativamente a f* es todo subconjunto no vacío de su historia cinemática

$$\mu_f(X) = \{\langle t, X_f(t, x_f)\rangle \in \mathbb{R}^5 | t \in T_f\}.$$

El espaciotiempo es de tanta importancia porque es una parte inevitable del espacio de estados de toda cosa en movimiento. (Ambos rara vez coinciden, porque el cambio de lugar con frecuencia trae aparejados cambios en otras propiedades o viceversa. Únicamente en los modelos extremadamente idealizados, tales como el de la partícula puntual, la historia coincide con la historia cinemática). Además, siempre que hay un cambio de una clase cualquiera, también hay movimiento, si no de la cosa como totalidad, al menos de algunas de sus partes. (Piénsese en una comunidad establecida en un antiguo pueblo: si bien el pueblo no se mueve relativamente a la Tierra, cada miembro de la comunidad se mueve mucho). Se trata de una generalización tan importante y abarcadora que merece el título de

POSTULADO 6.10 La historia de toda cosa básica, relativamente a un marco de referencia arbitrario, es una proyección no vacía sobre el espaciotiempo adjunto al marco.

Este postulado no debe confundirse con la hipótesis de que todo cambio es reducible al movimiento. Esta otra tesis, que caracteriza a todas las ontologías mecanicistas, es completamente falsa: piénsese en la propagación de una onda electromagnética o en el proceso de industrialización. Sin duda, las cosas involucradas, o al menos algunas partes de ellas, se mueven en el curso de tales procesos, pero también cambian en otros sentidos. Este comentario también merece ser generalizado y la generalización correspondiente merece ser elevada a la categoría de axioma:

POSTULADO 6.11 Todo lo que cambia lo hace en más de un aspecto.

La consecuencia para la gnoseología es clara: ninguna teoría acerca de un único tipo de cambio basta para dar razón de los variados cambios de las cosas reales.

5. Propiedades espaciotemporales

5.1. ¿Tiene propiedades el espaciotiempo?

A menudo se dice que el espaciotiempo posee propiedades matemáticas. Según nuestra perspectiva, sólo los objetos matemáticos poseen propiedades matemáticas y puesto que el espaciotiempo no es un objeto de esa clase, no puede tener propiedades matemáticas. No es el espaciotiempo en sí mismo, sino más bien cada una de sus conceptuaciones, en particular la 4-variedad M^4, la que tiene propiedades matemáticas, tales como la de ser la portadora de funciones continuas. Que la distinción entre el espaciotiempo y sus representaciones matemáticas se haga rara vez en la literatura científica no debe ser una excusa para que el filósofo no los distinga.

¿Y qué sucede con las propiedades físicas: tiene tales propiedades el espaciotiempo? Según nuestra concepción del espaciotiempo, tampoco tiene propiedades físicas. ¿Cómo podría tener propiedades sustanciales el espaciotiempo cuando no es una cosa, sino una propiedad (relacional) de las cosas? Con todo, con frecuencia se afirma de manera dogmática que el espaciotiempo posee ciertas propiedades físicas, en particular las tres que siguen. Una es que el espaciotiempo es el «portador» de campos físicos tales como el campo gravitatorio, una función que antes se atribuía al éter. Esta última es sugerida por la representación matemática de un campo físico como un campo tensor (o espinor o vector) sobre una variedad. Pero no se debe identificar un modo de representación con el objeto representado. Los campos físicos no necesitan portadores o sustratos: son cosas por derecho propio, tal como lo reconoció originalmente Einstein. Sin duda, seguiremos hablando del campo gravitatorio en un lugar dado, pero sin atribuir a los lugares una existencia independiente ni, con mayor razón, propiedades físicas.

Otra propiedad comúnmente atribuida al espaciotiempo es que todo suceso dado es conectable únicamente con los sucesos que se encuentran dentro de su cono de luz hacia adelante (véase la Figura 6.9). En ocasiones se dice que la conectabilidad restringida es una propiedad fundamental del espaciotiempo. No obstante, adviértase que *(a)* la conectabilidad es definible como una relación ternaria entre entidades físicas y *(b)* la conectabilidad depende de que haya cosas capaces de moverse. Si se descubrieran entidades superluminosas (taquiones) dejaríamos de considerar la conectabilidad únicamente dentro del cono de luz como una propiedad universal de las cosas y sus cambios.

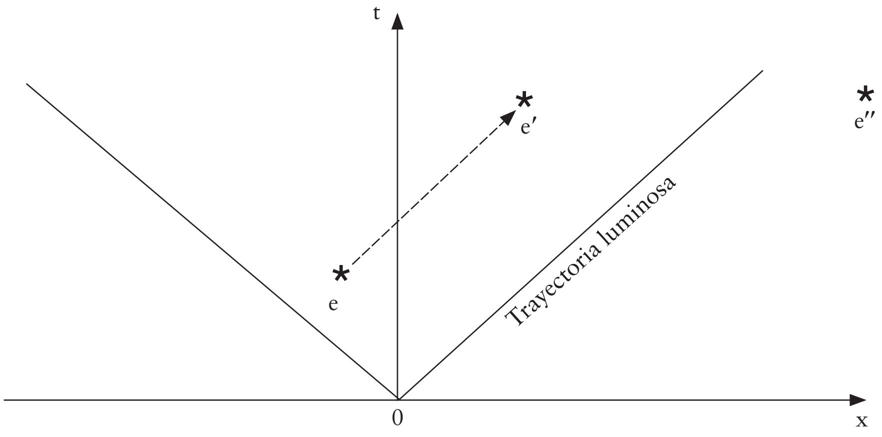


Figura 6.9. Sucesos *e* y *e′* son conectables, pero *e* y *e″* no lo son, porque no hay señales superluminosas (conocidas).

El tercer caso importante de atribución de propiedades físicas al espaciotiempo se relaciona con la polarización del vacío postulada en la teoría cuántica de campos. En realidad, no es una propiedad del espaciotiempo, sino del campo de fondo, por ejemplo, del campo electromagnético en su estado fundamental, el cual existe y fluctúa, pero no posee cuantos (fotones).

Generalizaremos las consideraciones anteriores en concordancia con nuestra concepción relacional del espaciotiempo y sostendremos que éste *no tiene propiedades* y que ello es así porque el espaciotiempo mismo es una propiedad, a saber, la malla básica de la suma total de las cosas cambiantes. Las que tienen propiedades espaciotemporales son las cosas y sus cambios, así como las pautas de ambos, vale decir, las leyes. Por ejemplo, un átomo de hidrógeno en su estado de base no es esféricamente simétrico y el desarrollo de un embrión no es temporalmente simétrico o, mejor dicho, no es reversible; éstas son propiedades de las cosas involucradas, no del espaciotiempo.

Una importante característica espaciotemporal de un ítem fáctico es su absolutidad o su falta de ella. Algunos hechos, tales como la emisión de luz, el nacimiento de un niño y la producción industrial, son absolutos, esto es, son independientes de todo marco de referencia. Otros no: por ejemplo, un detector de luz, tal como una fotocélula o una retina, ajustadas para responder a cierta banda de longitud de onda, detectará ciertas señales provenientes de una fuente estacionaria, pero no detectará la misma radiación si la fuente se mueve hacia el sensor o bien en la dirección opuesta. Por consiguiente, la absorción de luz depende del marco de referencia. De más está decir que un hecho relativo es tan objetivo como uno absoluto. La circunstancia de que el detector pueda pertenecer a un ser vivo, en particular a un filósofo subjetivista, no hace que el hecho sea subjetivo.

Asimismo, mientras que algunas leyes son absolutas, otras son relativas a algún marco. En particular, todas las leyes básicas son invariantes respecto de las traslaciones y rotaciones (realmente espaciotemporales). O sea, el lugar y la orientación espacial no tienen influencia sobre las pautas básicas. (La mayoría de las leyes son, además, invariantes respecto de la reflexión, vale decir, no distinguen entre izquierda y derecha, Este u Oeste). En otras palabras, si una ley básica tiene lugar en una región $m \subset M^4$ del espaciotiempo, también se mantendrá en toda otra región $m' \subset M^4$. Este principio de invariancia (o, mejor dicho, covariación) espaciotemporal sólo es válido para las leyes básicas: las leyes derivadas no necesariamente tienen esta propiedad, puesto que pueden encarnar circunstancias particulares de carácter espaciotemporal, tales como las condiciones iniciales y las condiciones de contorno. Otra advertencia: el principio anterior no implica que, si hay leyes biológicas (o sociológicas) en una región dada, esas mismas leyes también se den en toda otra región del espaciotiempo, aun cuando no haya organismos ni, *a fortiori*, sociedades. El principio es cumplido de manera ociosa por las leyes regionales que acontecen en una región pero no son «ejemplificadas» en otras.

5.2. Inversión temporal y reversibilidad de procesos

El tema de la invariancia respecto de las inversiones temporales merece una sección especial, porque a menudo se lo entiende de manera incorrecta. Llamemos π a una red que representa una cadena lineal de estados de una cosa, es decir, a un proceso que no se ramifica (relativamente a algún marco de referencia, por supuesto).

Llamemos $\tilde{\pi}$ a la traspuesta de π, es decir, al mismo conjunto de estados en orden opuesto. Por ejemplo, si $\pi = \langle s_1, s_2, s_3 \rangle$, $\tilde{\pi} = \langle s_3, s_2, s_1 \rangle$. La red dada y su traspuesta están relacionadas por un operador de inversión del orden T, tal que $\tilde{\pi} = T\pi$. (Advertencia: dados π y T, la traspuesta está determinada unívocamente. Pero, en general, T no está determinada unívocamente por π y π', vale decir que la ecuación precedente no define T únicamente. Como ocurre con tanta frecuencia, el problema inverso no tiene una única solución). El operador T se llama, habitualmente, operador de *inversión temporal*. Se trata de un nombre desafortunado, porque T representa la inversión del orden de los estados, no del propio tiempo (véase la Figura 6.10). Un nombre mejor sería operador de *inversión de procesos*.

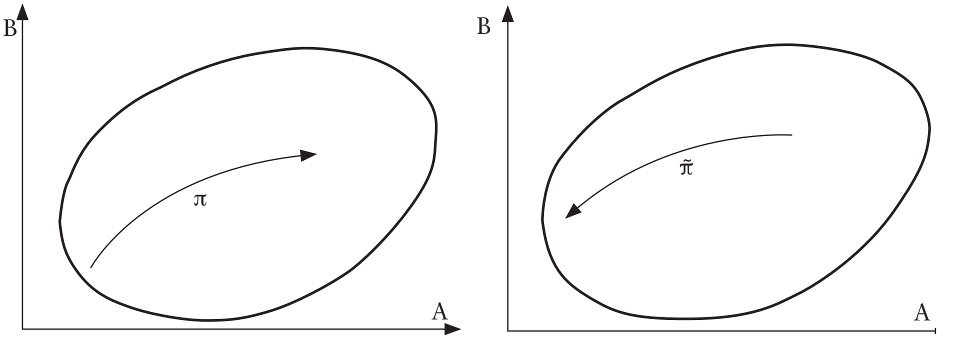


Figura 6.10. Un proceso π en el espacio de estados $S \subset A \times B$ de una cosa y la traspuesta $\tilde{\pi} = T\pi$ de π. T aplica la primera a la segunda.

La relación $\tilde{\pi} = T\pi$ entre un proceso y su traspuesta se puede interpretar de dos maneras diferentes. La primera interpretación es la siguiente: si decidimos contar hacia atrás intervalos de tiempo, por ejemplo, utilizando un reloj cuyas manecillas se mueven en sentido antihorario, debemos invertir el orden de los estados: el último estado estará antes (temporalmente) de todos los estados anteriores, tal como se muestra en la Figura 6.11. Una interpretación alternativa de la misma operación matemática de inversión temporal (o, mejor dicho, del orden de los estados) es la que sigue. La traspuesta $\tilde{\pi}$ de π no es sólo una representación heterodoxa de π, sino que simboliza un proceso posible hacia adelante en el tiempo y que atraviesa las mismas etapas que π pero en orden opuesto, como cuando se proyecta una película hacia atrás. No obstante, esta segunda interpretación de la inversión temporal sólo es legítima si $\tilde{\pi}$ es legal, lo cual no en todo proceso es el caso. Cuando un proceso tiene una traspuesta que va hacia adelante en el tiempo se llama proceso *reversible*, de lo contrario, se dice que es *irreversible*. (Recuérdese la Definición 5.21 de la Sección 3.1 del Capítulo 5).

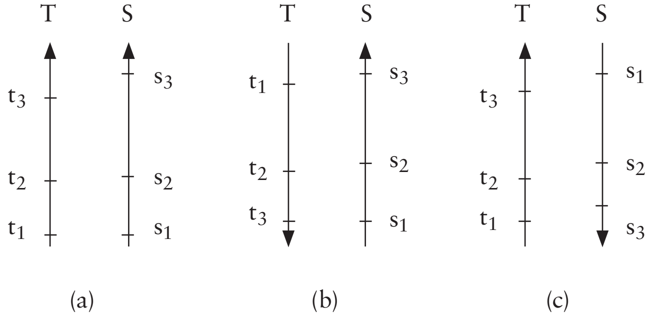


Figura 6.11. *(a)* La correspondencia estándar instante-estado. *(b)* La extraña pero posible representación de un proceso por su traspuesta. *(c)* La inversión real de un proceso en caso que sea reversible.

Si un proceso es reversible, los valores de la coordenada temporal de sus estados sucesivos proveen una representación cómoda aunque engañosa. Por el Corolario 6.5, de la Sección 3.3, la función de duración métrica t_f es antisimétrica (impar) en el sentido de que si s y s' pertenecen al mismo proceso, luego $t_f(\langle s, s', g\rangle, u) = -t_f(\langle s', s, g^{-1}\rangle, u)$ para todo marco f y todo sistema de escala-*cum*-unidad u. Si llamamos t al valor $t_f(\langle s, s', g\rangle, u)$, como es habitual en ciencia, descubrimos el significado fáctico de la inversión del signo de t: corresponde a una inversión del orden de aparición de los estados subyacentes. O sea, *la inversión temporal representa una inversión de un proceso*:

$$\textit{proceso hacia adelante}\ \langle s, s', g\rangle, \qquad t_f(\langle s, s', g\rangle, u) = t$$
$$\textit{proceso opuesto}\ \langle s, s', g^{-1}\rangle, \qquad t_f(\langle s', s, g^{-1}\rangle, u) = -t$$

La reversibilidad, una propiedad de ciertos procesos, no debe confundirse con la invariancia de un enunciado legal básico respecto de una inversión temporal, vale decir, respecto de la inversión del signo de t (o, de forma equivalente, respecto de la operación T). Llámese $L(t)$ al enunciado legal que incluye una coordenada temporal *t*. Si $L(-t) = L(t)$, se dice que la ley es *invariante-T* o invariante respecto de la inversión temporal. Las leyes electromagnéticas básicas (de Maxwell) son invariantes-*T*, en tanto que la ley fundamental de la transferencia de calor (de Fourier) no lo es. La inversa temporal de un proceso descrita por un enunciado legal invariante-*T* es la inversa del proceso (reversible) original, por ejemplo un movimiento con velocidades y espines invertidos. No hay ninguna «inversión temporal» involucrada, incluso cuando el proceso pueda ser descrito reemplazando *t* por *-t* en las ecuaciones derivadas. La inversa o traspuesta de un proceso reversible va hacia adelante en el tiempo, exactamente igual que el proceso original. No hay ninguna flecha del tiempo, excepto como una metáfora engañosa y sobrestimada. Las únicas «flechas» pueden encontrarse en ciertos procesos, a saber, los procesos que son irreversibles, tales como la desintegración radiactiva o el envejecimiento. En consecuencia, la búsqueda del origen de la flecha del tiempo –en la cual se han embarcado numerosos físicos destacados– es tan inútil como la búsqueda de la piedra filosofal.

Si un enunciado legal no es invariante-*T*, vale decir, si $L(-t) \neq L(t)$, luego se refiere a procesos irreversibles, siempre que la ley sea básica, en lugar de derivada. (Por ejemplo, en tanto que la ecuación de movimiento de una cuerda que vibra es invariante-*T*, su solución elemental $u = a$ sen $(kx - \omega t)$, una ley derivada, no lo es). La inversa es falsa: algunos procesos irreversibles pueden ser descritos con ayuda de leyes invariantes-*T* junto con ciertas condiciones subsidiarias. Por ejemplo, las fórmulas básicas del electromagnetismo clásico son invariantes-*T*, pero cuando se las combina con la condición de Sommerfeld de radiación saliente (exclusión de las ondas entrantes), describen la propagación irreversible de una onda saliente retardada. En general, un proceso o historia es descrito conjuntamente por un conjunto de enunciados legales y un conjunto de restricciones, condiciones iniciales, condiciones de contorno y, posiblemente, otras hipótesis subsidiarias que representan las circunstancias particulares tanto del sistema como de su entorno. Así pues, los procesos radiactivos son descritos por la mecánica cuántica elemental, que es invariante-*T*, junto con la hipótesis de que una barrera de potencial nuclear es semipermeable, en el sentido de que algunas partículas nucleares pueden penetrar a través de ella, aun cuando su energía es menor que la de la altura de la barrera. En resumidas cuentas, la invariancia-*T* de un conjunto de enunciados legales no proporciona ningún indicio acerca de la reversibilidad, o la falta de ella, de los procesos involucrados: únicamente la totalidad de la teoría puede ofrecer tales indicios (cf. Bunge, 1970b, 1972).

5.3. El principio de antecedencia (de «causalidad»)

La física contemporánea impone de manera explícita, de varias maneras y con el nombre incorrecto de *condición* (o *relación*) *de causalidad*, un principio metafísico, a saber, la cláusula (vii) del Postulado 6.1. Este principio afirma que las causas preceden a sus efectos o, de manera equivalente, que el presente está determinado (ya sea única o estocásticamente) por el pasado, nunca por el futuro, y que, además esta relación, a diferencia de la mera sucesión de estados, es invariante respecto del marco de referencia. Procederemos a enunciar este principio en términos del concepto de propiedad y distinguiremos dos casos de él: el estocástico y el no estocástico (Bunge, 1968c).

Sean P_1 y P_2 dos propiedades, dependientes del tiempo de cosas de cierta clase K. Como siempre, suponemos que las propiedades están representadas por funciones y, más particularmente, que tanto $F_1 \triangleq P_1$ como $F_2 \triangleq P_2$ están definidas sobre $K^n \times \{f\} \times T$, donde f es el marco de referencia, T el recorrido de la función de duración métrica adjunta a f y $n \geqslant 1$ un número natural. (En realidad, puede haber más de una clase de cosas, de modo tal que es posible que K deba interpretarse como un género de cosas o, de otro modo, que K deba dividirse en un producto cartesiano). En lo que respecta a la matemática pura, hay tres posibilidades acerca de las relaciones entre las dos propiedades:

(a) P_1 y P_2 son mutuamente independientes;

(b) una de ellas depende de la otra, por ejemplo P_1 determina P_2;

(c) tanto P_1 como P_2 dependen de otra propiedad, de suerte tal que están indirectamente relacionadas entre sí.

Aquí nos interesa el caso *(b)*, vale decir, el de la dependencia unilateral. Una vez más, en lo que respecta a la matemática pura, no hay límites en la forma de la dependencia. Pero da la casualidad de que, en realidad, las formas de dependencia están limitadas por un principio general, según el cual el valor de F_2, en un instante dado, es el resultado de la historia P_1 de la cosas previamente a ese instante. En otras palabras, la dependencia de una propiedad cualquiera con respecto a otra propiedad *experimenta un retardo* (o *no es anticipatoria*): el futuro no actúa, por lo cual no hay precognición; es decir, no hay flujo de información proveniente de los sucesos futuros. Esta hipótesis ontológica fundamental se puede formular del siguiente modo:

POSTULADO 6.12 Sean P_1 y P_2 propiedades de un sistema compuesto por cosas de la clase K y supóngase que P_1 determina P_2.

(i) Si P_1 y P_2 son representables mediante funciones ordinarias F_1 y F_2 respectivamente, ambas definidas sobre el dominio $K^n \times \{f\} \times T$, luego el valor instantáneo $F_2(x, y, \ldots, z, f, t)$ de F_2 para $x, y, \ldots, z \in K$, relativamente al marco de referencia f, es un funcional G de la historia P_1 de la cosa hasta el instante dado

$$F_2(x, y, \ldots, z, f, t) = \underset{u=-\infty}{\overset{u=t}{G}} [F_1(x, y, \ldots, z, f, u)];$$

(ii) si P_2 es representable mediante una variable aleatoria F_2 (independientemente de que F_1 también lo sea o no), luego la probabilidad de que, en el instante t, sus valores estén en un intervalo preasignado $[a, b]$ es un funcional de la historia P_1 íntegra de la cosa hasta el instante dado:

$$Pr[F_2(x, y, \ldots, z, f, t) \in [a, b]] = \underset{u=-\infty}{\overset{u=t}{G}} [F_1(x, y, \ldots, z, f, u)].$$

Se obtienen formas más simples del axioma anterior si se ignora que todas las propiedades sustanciales están definidas para cosas y a menudo son relativas a un marco de referencia. Es decir, si llamamos x e y respectivamente a las funciones representantes de las propiedades, el principio de antecedencia se simplifica y queda así:

$$\left.\begin{array}{c} y(t) \\ \\ Pr[y(t) \in [a, b]] \end{array}\right\} = \underset{u=-\infty}{\overset{u=t}{G}} [x(u)].$$

En realidad, para todas las cosas, con excepción del universo como totalidad, el valor de G será nulo entre $-\infty$ y el instante t_0 del inicio de su existencia.

Acerca de la dependencia funcional más simple y común, es la que sigue:

$$\left.\begin{array}{r} F_2(x, y, \ldots, z, f, t) \\ \\ Pr[F_2(x, y, \ldots, z, f, t) \in [a, b]] \end{array}\right\} = \int_{-\infty}^{t} K(t, u) \cdot F_1(x, y, \ldots, z, f, u)\, du.$$

El caso particular de la dependencia instantánea de P_2 con respecto a P_1, o acción instantánea, se obtiene estableciendo la igualdad $K(t, u) = \delta(t - u)$, en la cual δ es la delta de Dirac. El principio de antecedencia posee consecuencias que son interesantes. Una de ellas es el

TEOREMA 6.6 No es posible regresar al pasado.

Demostración Si hubiera bucles (temporales) en el espaciotiempo, sería posible modificar los estados pasados de las cosas desde el futuro, algo que contradice el Postulado 6.12.

En otras palabras, las máquinas del tiempo son imposibles. Si fueran posibles, podríamos aterrizar en el pasado y corregirlo de forma tal de conseguir un presente mejor. Pero entonces obtendríamos dos presentes diferentes. Con uno ya parece suficiente.

Adviértase que el «viaje en el tiempo» hacia el pasado nada tiene que ver con la reversibilidad temporal. Incluso un universo estrictamente reversible estaría sujeto a la restricción de que es imposible modificar el pasado. Tanto es así que el principio de antecedencia o «causalidad» es una parte esencial de la teoría de campo cuántico, así como de otras teorías estocásticas que se ocupan de procesos reversibles. El Teorema 6.6 tampoco tiene relación con la dependencia del marco propia de la duración, tal como la ilustra la «paradoja» del gemelo viajero. Esta última consiste en utilizar la dilatación de la duración con el movimiento a fin de aterrizar en el futuro de un sujeto que no ha participado en el viaje. Esta consecuencia de la relatividad especial es muy poco intuitiva para todo aquel que se haya formado en la tradición del tiempo absoluto; pero, desde luego, resulta natural en el contexto de la teoría y, además, ha sido confirmada experimentalmente con gran exactitud. Pero posee dudoso valor ontológico, salvo porque nos libera de las teorías del tiempo absoluto.

Por último, unos cuantos comentarios. Primero, en ocasiones el principio de antecedencia se enuncia de la siguiente forma: «En tanto que se puede influir el futuro, no es posible influir el pasado». En realidad, no se puede influir ni en el futuro ni en el pasado, porque ninguno de ellos existe en el instante presente (relativamente a un marco de referencia dado cualquiera). 'Influir en el futuro' es una forma abreviada y engañosa de decir «Modificar las oportunidades de las posibilidades del presente». La acción directa sobre el futuro no es posible: en lugar de saltar por sobre una extensión de tiempo, debemos permitir que las cosas se desarrollen unas relativamente a otras o, como lo expresa el lenguaje corriente, con el transcurso del tiempo.

Otro comentario es el siguiente: el nombre 'condición de causalidad' para el Postulado 6.12 es incorrecto en diversos sentidos (Bunge, 1959, Capítulo 3, Sección 3.2). Una razón de ello es que el postulado no sólo es aplicable a las relaciones insumo-producto, las cuales en ocasiones son genuinamente causales, sino también a ciertos pares de funciones que reflejan diferentes características de la misma cosa y, en consecuencia, a situaciones en las cuales no hay extremos de insumo ni producto.

Tercera observación: si bien las experiencias de presciencia no son posibles –sólo las alucinaciones de presciencia lo son– algunas teorías las admiten a su riesgo. La única gran teoría que es parcialmente infiel al principio de antecedencia es la electrodinámica clásica, según la cual un electrón es acelerado por una onda entrante antes de que la misma entre realmente en contacto con éste. Pero esto se considera, por lo general, uno de los rasgos insatisfactorios de la teoría, no sólo porque no goza del apoyo de la observación, sino también porque contradice el principio general de antecedencia. (Véase Bunge, 1967b, p. 167).

Cuarto: la conducta orientada a fines contradice el principio de antecedencia sólo de forma aparente. En efecto, si un organismo parece estar guiado por sus propios estados futuros es únicamente porque está dotado para comportarse de modo tal de sacar provecho de sus circunstancias actuales, de suerte de maximizar sus oportunidades de supervivencia o aumentar su bienestar. Hasta la teleología humana está guiada por el presente, no por el futuro: una previsión (por ejemplo, la planificación) de sucesos futuros no es otra cosa que la formación, en el presente, de una imagen mental de ciertos sucesos futuros posibles, en particular de aquellos que deseamos producir.

5.4. Acción por contacto

En lo que concierne a la lógica, una cosa puede actuar sobre una cosa separada (pero, desde luego, conectable) de manera directa (*acción a distancia*) o bien a través de otra cosa que obra como intermediario (*acción cercana*). Y, en ambos casos, es posible ejercer una influencia de forma instantánea, o bien ésta puede extenderse durante algún tiempo. (Véase la Figura 6.12).

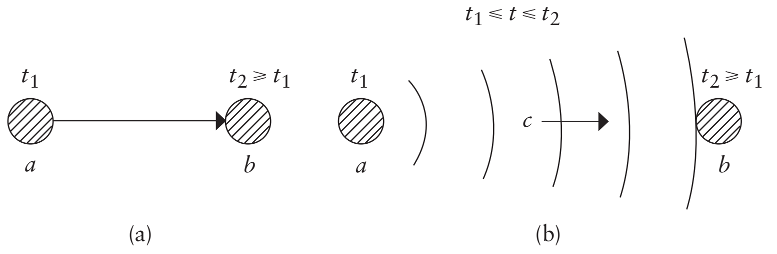


Figura 6.12. (a) La cosa *a* actúa de forma directa sobre la cosa *b* (instantáneamente o con algún retardo). (b) La cosa *a* actúa sobre la cosa *b* por medio de la cosa c (instantáneamente o con algún retardo).

La acción a distancia es supuesta por todas las teorías atómicas clásicas, en tanto que la acción cercana ha sido un componente de las cosmologías plenistas de Aristóteles, Descartes y sus seguidores. Hasta la confirmación de la primera teoría de campo exitosa, no había razones convincentes para preferir una de las alternativas a la otra. A partir de ese momento, la hipótesis de la acción cercana ha prevalecido en todos los ámbitos de la física en los que se estudian interacciones entre cosas diferentes. Es cierto que la metafísica corpuscular todavía tiene fuerza entre los operacionistas, quienes insisten en que nunca medimos otra cosa que los atributos de cuerpos perceptibles, tales como la posición de las manecillas de un reloj. Aquí y allá el operacionismo alza su cabeza y desafía[#] el concepto mismo de campo, pero sólo de forma temporal: vuelve a bajar la cabeza cada vez, porque las teorías de acción a distancia son decididamente más pobres que las teorías de acción cercana y, en particular, porque no pueden explicar cabalmente procesos que, como la propagación de una onda electromagnética, son irreduciblemente plenistas. En consecuencia, apostaremos por la acción cercana. Para formular el principio emplearemos la noción de lugar o bulto de una

[#] Resulta oportuno comentar aquí que en *Semántica II* (Capítulo 8, Sección 2.3) tradujimos «*to indict*» – término que designa la relación de incompatibilidad de la teoría con el experimento o del experimento con el experimento– como «delatar». Por sugerencia del autor, aquí traducimos «*to indict*» como «desafiar». [N. del T.]

cosa, propuesta en la Definición 6.6 de la Sección 2.4. El *principio de acción cercana* será nuestro

POSTULADO 6.13 Si dos cosas están en lugares diferentes y una de ellas actúa sobre la otra, luego existe otra cosa interpuesta entre las dos anteriores. O sea,

$$x, y \in \Theta \;\&\; \beta(x) \cap \beta(y) = \varnothing \;\&\; x \rhd y \Rightarrow$$
$$(\exists z)(z \in \Theta \;\&\; z \neq x \;\&\; z \neq y \;\&\; x|z|y).$$

Una versión especialmente atractiva de este principio es la que sigue. Sean P_1 y P_2 dos propiedades sustanciales representadas por las funciones F_1 y F_2 respectivamente, definidas sobre la variedad M^3. Luego, para cada punto $x \in M^3$ existe una función de variable real L sobre $M^3 \times M^3$ tal que

$$F_2(x) = \int_{-\infty}^{\infty} dy\, L(x, y)F_1(y).$$

El principio de acción cercana no excluye la posibilidad de que una acción iniciada en una cosa permanezca confinada en esa cosa. Tal posibilidad es negada por la versión fuerte del principio, la cual puede formularse del siguiente modo: «Todo lo que ocurre en un lugar dado cualquiera está determinado por lo que sucede en su entorno inmediato y, a su vez, influye sobre todas las demás cosas». Según este principio, en el universo no hay dos cosas que sean independientes la una de la otra. No adoptaremos este principio porque hay casos de aislamiento real y casos de actividad espontánea (no causada) (Bunge, 1959).

5.5. Contigüidad espaciotemporal

Los principios de antecedencia y acción cercana son independientes desde el punto de vista lógico: tal como se sugiere en la sección anterior, es posible afirmar uno de ellos y, a la vez, negar el otro. Pero dado que los admitimos a ambos, podemos combinarlos en un único principio, más aún puesto que la física relativista nos ha enseñado que las relaciones espaciales están entrelazadas con las relaciones temporales. Una fusión posible tiene como resultado el llamado *principio de causalidad local*, que nosotros preferimos llamar *principio de contigüidad espaciotemporal*:

POSTULADO 6.14 Toda acción de una cosa sobre otra cumple tanto las condiciones de antecedencia como las de acción cercana.

Una formulación posible, pero limitada, de esta condición es la que sigue. Si P_1 y P_2 son propiedades sustanciales de una cosa (un campo, por ejemplo) representables mediante las funciones F_1 y F_2 respectivamente, definidas sobre la variedad espaciotemporal M^4, y si P_2 depende de P_1, luego, relativamente a todo marco de referencia f y para toda cuaterna $\langle x, t\rangle \in M^4$, existe una función de variable real N, tal que

$$F_2(x, t) = \int_{-\infty}^{t} dv \int_{-\infty}^{\infty} du\, N(x, u; t, v) F_1(u, v),$$

donde

$$\langle u, v\rangle \in M^4_f$$

y $|x\text{-}u| \leqslant c|t\text{-}v|$, y c es un número real positivo. (Para cumplir con la relatividad especial, c debe ser menor o igual que la velocidad de la luz en el vacío. La relatividad general introduce ciertas modificaciones en la fórmula anterior, principalmente la inserción de $g^{1/2}$ en el integrando, donde g es el determinante del tensor métrico y una ligera relajación de la limitación sobre los intervalos espacial y de duración, ya que ahora c puede ser una función definida sobre M^4, aunque una función cuyos valores siempre serán cercanos a la velocidad de la luz en el vacío en ausencia de gravedad).

Los principios anteriores, de acción cercana y antecedencia, son recuperados como casos especiales al establecer las igualdades $N(x, u; t, v) = \delta(t - v) \cdot L(x, u)$ y $N(x, u; t, v) = \delta(t - u) \cdot K(t, v)$ respectivamente, en las cuales L y K son, en ese orden, funciones espacial y temporalmente dependientes.

Para percatarse de que el Postulado 6.4 subyace a toda la ciencia, basta señalar que su negación supondría las consecuencias que siguen.

Primero, a causa de que el principio afirma la independencia mutua de las cosas no conectables, si fuera falso no quedaría cosa alguna cuasiaislada del resto del universo, ni siquiera por un breve lapso. En consecuencia, no se podría conocer nada, ni siquiera de forma aproximada y, además, el concepto mismo de individuo resultaría ocioso. En lugar de ser un sistema, el universo sería un bloque. Segundo, tanto el pasado como el futuro distantes podrían abalanzarse sin aviso previo sobre el presente e introducir en éste el caos. Esto, de nuevo, tornaría completamente imposible el conocimiento y la confusión sería aún más densa y extendida de lo que ya es. Puesto que ciertamente conseguimos conocer un par de cosas, debemos inferir que no nos encontramos a merced de las cosas distantes en el espacio y en el tiempo. En particular, podemos estar tranquilos con respecto a que los sucesos que acontecen en una región espacial distante y separada del espaciotiempo no nos afectarán.

Es cierto, a veces se afirma que el Postulado 6.14 no es congruente con la mecánica cuántica. Pero si eso fuera verdad la mecánica cuántica sería incompatible con la teoría especial de la relatividad, la cual incorpora el Postulado 6.14. Y esa conclusión es contradicha por la existencia misma de exitosas teorías cuánticas relativistas, tales como la teoría del electrón, de Dirac, y la electrodinámica cuántica. Por consiguiente, los resultados que supuestamente invalidan la llamada causalidad local –tales como la inseparabilidad EPR y el teorema de Bell– tendrán que ser reinterpretados. En otras palabras, no estamos obligados a renunciar a los principios ontológicos que están sólidamente arraigados en la ciencia sólo porque algún fragmento ocasional y separable de investigación científica los contradice. Por el contrario, son estos fragmentos aislados los que deben ser reevaluados a la luz de la ontología científica. Así pues, cuando la electrodinámica clásica condujo a la conclusión de que existen preaceleraciones y, en consecuencia, sucesos que violan el principio de antecedencia (Postulado 6.12), la mayoría de los físicos pusieron en duda la física antes que la metafísica y se esforzaron por corregir la primera en lugar de modificar la segunda. (Recuérdese la Sección 5.3).

5.6. La relación causal

Por último, dilucidaremos la noción de causación y afirmaremos el principio causal. Entenderemos que la causación es una relación entre sucesos que tienen lugar en cosas diferentes, las cuales, desde luego, pueden ser partes de una cosa mayor. Además, consideraremos que la causación incluye la antecedencia y que, en lugar de sólo preceder a los efectos, la causa los produce (Bunge, 1959). En resumen, convendremos la

DEFINICIÓN 6.23 Sea $e \in E(x)$ un suceso de una cosa x en un instante t y sea $e' \in E(x')$ otro suceso de una cosa $x' \neq x$ en el instante t', donde tanto los sucesos como los instantes se consideran relativamente al mismo marco de referencia. Además, llámese $A(x, x')$ a la acción total o efecto de x sobre x' (Definición 5.31). Luego, se dice que e es la *causa* de e' sii

(i) $t \leqslant t'$

(ii) $e' \in A(x, x') \subseteq E(x')$.

Una condición más precisa que la cláusula (ii) sería la siguiente: existe una transferencia de energía de x a x' durante el intervalo $[t, t']$ y la cantidad de energía transferida basta para que e' acontezca. Pero no necesitamos esta mayor precisión.

La noción de causación nos permite formular el *principio* estricto *de causalidad* como sigue: «Todo suceso es causado por algún otro suceso». De forma más precisa, «Sea x una cosa con un espacio de sucesos $E(x)$. Luego, para todo $e \in E(x)$ existe otra cosa $x' \neq x$, con espacio de sucesos $E(x')$ relativamente al mismo marco de referencia, tal que $e' \in E(x')$ causa e». Pero no nos adheriremos a este principio, porque si lo hiciéramos deberíamos dejar a un lado la mayor parte de la ciencia contemporánea (Bunge, 1959).

Hasta aquí llegamos con los principios generales que incluyen las nociones de espacio y tiempo. A continuación pasaremos a estudiar los problemas de existencia.

6. Problemas de existencia

6.1. Existencia en el espacio y en el tiempo

Habitualmente se supone que, a diferencia de las ideas, las cosas físicas «existen en el espacio y en el tiempo». (Para Aristóteles, sólo las cosas cambiantes existían en el tiempo: *Física*, Libro IV, Capítulo 12. Y para Kant, las ideas existen en el tiempo pero no en el espacio). Además, en ocasiones, se considera que la «existencia en el espacio y en el tiempo» define el propio concepto de objeto físico por contraste con el objeto no físico. A su vez, lo que 'x existe en el espacio y en el tiempo' significa es que x ocupa una región del espacio y dura un intervalo de tiempo.

Los enunciados que acabamos de mencionar presuponen la existencia independiente del marco espaciotemporal, el cual a su vez sería un objeto no físico. Se trata, desde luego, de la doctrina absolutista que examinamos y rechazamos en la Sección 1.1. No aceptamos la concepción del continente porque nuestra ontología no supone ninguna entidad no física, salvo, por supuesto, como ficción. En nuestra concepción, las cosas no flotan en un marco espaciotemporal dado, sino que mantienen relaciones espaciotemporales entre sí, del mismo modo que las personas no nadan en una comunidad sino que la constituyen mediante el mantenimiento de conexiones entre ellas. Las cosas «se presentan» con sus propias relaciones espaciotemporales y estas últimas son solamente relaciones (no vínculos) entre las cosas y sus cambios.

En consecuencia, en nuestra ontología tiene tan poco sentido decir que una cosa *existe en* el espaciotiempo como decir que el espaciotiempo *existe en* una cosa. Las expresiones 'x existe en el lugar (o la región) relativamente al marco z' y 'x existe en el instante (o a través del intervalo) t relativamente al marco z' son elípticas. La localización de una cosa está dada siempre con referencia a otra cosa y el momento de un estado o un suceso siempre se refiere a otro estado o suceso y, a su vez, los estados son estados de las cosas y los sucesos son cambios en los estados de las cosas. Tal como podría expresarlo el sensato filósofo de la esquina: sin cosas no hay ninguna cosa.[#] Podemos utilizar esas expresiones elípticas porque ahorran tiempo, a condición de que recordemos cuál es su propósito en el momento de discutir sobre problemas fundacionales. En la ontología y en los fundamentos de la física no tenemos derecho a suponer que el espaciotiempo preexiste a las cosas y que la localización espaciotemporal de una cosa o un suceso está en la naturaleza de la relación parte-todo, donde la parte sería el ítem fáctico y la totalidad el espaciotiempo. Sólo el bulto de una cosa puede incluirse en el espacio, porque ese bulto es un conjunto.

Por último, ¿qué hay con la hipótesis del *plenum* sostenida por Aristóteles y sus seguidores? (Cf. Lovejoy, 1936). La física contemporánea, en particular las teorías de la gravedad y la electrodinámica

[#] El original tiene más gracia: *No things*, *nothing.* [N. del T.]

cuántica, favorecen la hipótesis de que el espacio está lleno de cosas. En otras palabras, el espacio vacío o el vacío perfecto no existen. (Vacío de partículas ≠ vacío). Por consiguiente, podemos adoptar el siguiente principio:

POSTULADO 6.15 Entre dos cosas cualesquiera localizadas en lugares diferentes, hay cosas interpuestas. O sea,

$$x, y \in \Theta \,\&\, \beta(x) \cap \beta(y) = \varnothing \Rightarrow$$
$$(\exists z)(z \in \Theta \,\&\, z \neq x \,\&\, z \neq y \,\&\, x|z|y).$$

Dado que este supuesto implica nuestro Postulado 6.13, podríamos haber obtenido este axioma como un teorema.

6.2. Existencia del espacio y del tiempo

Resulta tentador dudar de la existencia del espacio y el tiempo. Después de todo, no son cosas –ni siquiera son cosas imperceptibles– y no poseen poderes causales. (En ocasiones se dice que según la relatividad general el espaciotiempo guía el movimiento de las cosas: que en el espaciotiempo hay huellas. Pero se trata de un error: lo que guía el movimiento de las cosas es el campo gravitatorio, el cual es representado por la teoría como una curvatura del espaciotiempo).

De hecho, cierto número de filósofos y místicos han dudado de la realidad del espacio y muchos más han sostenido que el tiempo es irreal. En tanto que, habitualmente, los topoclastas han argumentado a partir de la imperceptibilidad del espacio, los cronoclastas, en general, han argumentado a partir de la supuesta inmutabilidad de la Realidad que subyace a las apariencias. Kant sostenía que el espacio y el tiempo eran fenoménicos, no reales, la cual es la única opinión razonable si se adopta la doctrina del continente, pero no en el marco de una doctrina relacional del espacio y el tiempo (Lotze, 1887, Libro II, Capítulo I). Y Russell sostuvo una vez que tanto el espacio como el tiempo son ficticios porque los conceptos de espacio y tiempo deberían ser construibles a partir de «entidades reales», a saber, de elementos sensoriales. No podemos aceptar estas concepciones fenomenistas, aunque sólo fuese porque ignoran la distinción básica que hace la psicología fisiológica entre espaciotiempo físico, por una parte, y los diferentes espacios de la percepción (por ejemplo, visual, táctil) y la duración de la misma, por otra.

En nuestra opinión, ni los topoclastas ni los cronoclastas tienen razón. Si bien el espacio y el tiempo no son cosas y no tienen existencia independiente de las cosas y sus cambios, no por ello son menos reales que cualquier otra propiedad sustancial de las cosas reales. En efecto, recuérdese que llamábamos *real* a una relación si y sólo si relacionaba cosas reales, lo que se da en el caso de las relaciones espaciotemporales. (Cf. Definición 2.17 de la Sección 5.1 del Capítulo 2). El *esse* de las relaciones espaciotemporales no consiste en que son *percipi*,[#] sino en que acontecen entre cosas reales, así como entre sucesos reales.

El papel del espacio y del tiempo en la ciencia no siempre se comprende cabalmente. Así pues, sólo porque no se presentan conceptos espaciotemporales en la sistemática de partículas elementales o porque desempeñan un papel poco conspicuo en las teorías de caja negra de esas entidades –a saber, las teorías de la matriz s y de relación de dispersión– se ha afirmado en ocasiones que no desempeñan ningún papel en absoluto (Chew, 1963). Sin embargo, del hecho de que no haya a la vista una teoría dinámica de «partículas» fundamentales no se sigue que podamos prescindir de los conceptos de espacio y tiempo. Se trata de un caso de uvas verdes. No es un error menos notable que el de atribuir eficacia causal al espaciotiempo, algo que hizo Aristóteles en su *Física*. La locución 'x fue derribada porque x estaba en el lugar y' es sólo una forma abreviada de 'x fue derribada por otra cosa z que estaba en el lugar y'. Asimismo, la frase 'El tiempo produjo la decadencia de x' es una elipsis de 'Ciertos sucesos produjeron la decadencia de x'. El espacio y el tiempo son tan inofensivos como inevitables.

Otro asunto que en ocasiones no se comprende bien es la naturaleza de las coordenadas. A causa de que el requisito general de covarianza muestra que los sistemas de coordenadas, así como los valores de las coordenadas, son convencionales o a priori, a veces se afirma que el propio espaciotiempo no es físicamente objetivo (por ejemplo, Einstein, 1916). Que los valores de coordenadas son sólo etiquetas de los puntos de la 4-variedad M^4 es cierto y hasta trivialmente cierto, tal como hemos visto en la Sección 4.2. Pero eso no implica que M^4 no represente relacio-

[#] Seguramente el lector ya ha advertido la alusión al lema de la doctrina subjetivista: *esse est percipi* o sea «ser es ser percibido (por un sujeto)». [N. del T.]

nes objetivas entre objetos físicos, como lo prueba el carácter absoluto de ciertas invariantes, tales como las distancias espaciotemporales (los valores de los compañeros numéricos de la separación espaciotemporal cualitativa propuesta en la Definición 6.18). En realidad, no cambian con la sustitución del sistema de coordenadas; en particular, no dependen del punto de vista del observador, ni siquiera de su localización y movimiento. Además, los coeficientes de la métrica, si bien no son ellos mismos covariantes (puesto que son las componentes de un tensor), son nada menos que los potenciales gravitatorios: representan un rasgo de la cosa llamada 'campo gravitatorio'. Si la métrica fuera convencional (como ha afirmado Grünbaum, 1973) las leyes de la gravedad también deberían ser convencionales. Y si así fuera, deberíamos ser más listos y escoger una métrica que impidiese toda desagradable caída y que hasta mantuviese a raya a nuestros enemigos.

En conclusión, el espacio y el tiempo no tienen existencia autónoma y, en consecuencia, tampoco tienen poderes causales. Pero ninguna relación existe por sí misma, vale decir, separada de los objetos relacionados, tal como sabemos a partir del Capítulo 2. Si bien las relaciones espaciotemporales no son entidades, ni siquiera conexiones o acoplamientos a la par de los vínculos mecánicos, eléctricos o sociales, son relaciones reales en el sentido de que acontecen entre cosas reales. El espaciotiempo no es ni más ni menos que *la estructura fundamental o marco básico del universo*.

En resumidas cuentas: los espacios matemáticos son múltiples e irreales: ni objetivos ni subjetivos; el espacio(tiempo) físico es único, real y objetivo (o independiente con respecto al sujeto) y los espacios y tiempos fenoménicos o propios de la percepción son múltiples, reales y subjetivos (o dependientes del sujeto).

7. Comentarios finales

Según el mecanicismo cartesiano, todos los hechos pueden y deben explicarse en términos de espacio y tiempo, únicamente. Este programa, si bien maravillosamente fructífero, nunca fue completamente llevado a la práctica en la física. En efecto, algunas de las propiedades básicas de la materia, tales como la masa, la carga, el espín y la paridad no se explican en términos de conceptos espaciotemporales. *E* incluso características que sí dependen de la localización espaciotemporal, tales como las intensidades de los campos y la producción cultural no son, ellas mismas, espaciotemporales. En resumen, las cosas no son verrugas del espaciotiempo. Y éste, si bien no es independiente de las cosas, tampoco es ilusorio. La realidad es la agregación de las cosas que mantienen relaciones espaciotemporales. Ahora bien, las relaciones no preexisten a sus *relata*, sino que se dan entre estos. En particular, es posible entender las relaciones espaciotemporales, tales como «entre» y «antes», únicamente en términos de las cosas, los estados o los sucesos entre los que se dan esas relaciones. En consecuencia, debemos intentar comprender el espaciotiempo en términos de cosas cambiantes: de eso se trata todo este capítulo.

Una vez que el marco espaciotemporal ha sido anclado a las cosas, podemos invertir el procedimiento y estudiar la cosas *en* el espaciotiempo, pero esta segunda mirada, más detallada, la realiza la ciencia, no la filosofía. (Asimismo, una vez que hemos formado el concepto general de suceso, que pertenece a la ontología, podemos empezar a hacer preguntas acerca de sucesos de clases especiales). En resumidas cuentas, tenemos la situación representada en la Figura 6.13.

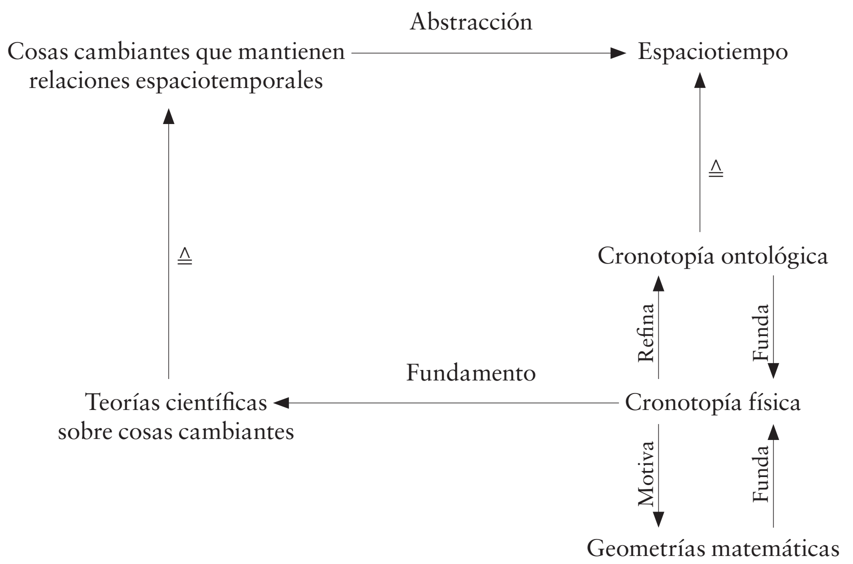


Figura 6.13. Relaciones entre los ítems tratados en este capítulo. La cosa real está en la esquina superior izquierda: el resto de los elementos son constructos.

¿Cómo les va en la ciencia contemporánea a las diferentes teorías ontológicas del espacio y el tiempo, vale decir, qué apoyo reciben éstas de aquélla? No es una pregunta fácil de responder porque, presuntamente, toda teoría física que contenga conceptos espaciotemporales puede coincidir con una teoría absoluta del espaciotiempo o bien con una teoría relacional de éste. Esta ambigüedad, tan clara en el análisis, ha sido oscurecida por la historia. Así pues, sólo porque Newton supuso que el espacio y el tiempo existían por sí mismos y, en particular, que eran independientes de la materia en movimiento, la mayoría de los filósofos creyó que la mecánica newtoniana y la teoría de la gravedad estaban empapadas en la doctrina del carácter absoluto del espacio y el tiempo. Se trata de un error: es posible reformular la mecánica clásica suponiendo una teoría relacional (aunque no relativista) del espacio y el tiempo (Noll, 1967). En otras palabras, las ecuaciones de movimiento y las ecuaciones constitutivas de la mecánica clásica son independientes del modo en que se entiendan el espacio y el tiempo. Lo mismo vale para todas las demás teorías no relativistas, en particular para la mecánica cuántica.

Incluso las teorías relativistas son bastante insensibles a la cuestión absoluto-relacional. En este caso también es posible intentar construir el espaciotiempo a partir de las cosas cambiantes, o bien se puede dar por sentado y construir a partir de allí. Es posible dejarse llevar por el segundo procedimiento y llegar a la conclusión de que, en realidad, puesto que las ecuaciones del campo gravitatorio poseen soluciones aun en ausencia de materia y radiación, la relatividad general utiliza un concepto absoluto de espaciotiempo. Pero esto sería tan erróneo como afirmar que la mecánica newtoniana está indisolublemente atada a una doctrina del espacio y el tiempo absolutos. Las soluciones para el universo vacío carecen de significado físico, porque por definición, la física se ocupa de los objetos físicos. En resumidas cuentas, el hecho de que la física sea compatible con una teoría ontológica del espacio y el tiempo dada no la respalda, sino que sólo la hace epistémicamente posible. En particular, la compatibilidad de nuestra propia cronotopía con la ciencia actual, si bien necesaria y alentadora, es insuficiente. Debemos buscar en otra parte la confirmación adicional.

No podemos verificar de manera concluyente nuestra teoría relacional del espaciotiempo ni, por cierto, ninguna otra cronotopía. No obstante, podemos descartar a su rival, la teoría absolutista, en cualquiera de sus versiones posibles. No podemos hacerlo con ayuda de experimentos cruciales, pero sí mediante un análisis semántico. En efecto, si se admite el principio metodológico de que una teoría física, por definición de «física», debe contener únicamente conceptos significativos desde el punto de vista físico, y si se acepta la definición de concepto físicamente significativo que afirma que es un concepto que se refiere a ítems físicos (cf. Volumen 1, Capítulo 2 de este *Tratado*), luego los conceptos de espacio y tiempo absolutos o independientes deben ser descartados por no ser físicos. Según este criterio, sólo queda la clase de las teorías relacionales del espacio y el tiempo. Y los únicos criterios para elegir entre éstas son *(a)* el poder matemático, *(b)* su cercanía con la física contemporánea y *(c)* la capacidad clarificadora. Dejaremos al lector la tarea de decidir si nuestra teoría del espaciotiempo cumple o no con estos criterios.

Y hasta aquí llegamos con la extensión y la duración. Ahora disponemos de todo lo que necesitamos para ocuparnos de los sistemas en general y en particular. Pero ésa será una tarea para el cuarto volumen de esta obra: *Un mundo de sistemas*.

Bibliografía

Agassi, J. (1964). The nature of scientific problems and their roots in metaphysics. En Bunge, Ed. *The Critical Approach*. Nueva York, Free Press.

Agassi, J. (1975). Science in Flux, *Studies in the Philosophy of Science*, vol. XXVIII, Dordrecht & Boston, Reidel.

Alexander, H. G., Ed. (1956). *The Leibniz-Clarke Correspondence*. Manchester, Manchester University Press.

Alexander, S. (1920). *Space, Time and Deity*, 2 vols. Nueva York, Humanities Press.

Allen, J. A. (1870-71). On the mammals and winter birds of East Florida, etc. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology* (Harvard), **2**: 161-450.

Aquino, T. (1259-64). *Summa contra gentiles*. Traducido al inglés por A. C. Pegis. Garden City, NY, Hanover House, 1955.

Aristóteles. *Metaphysics*. En J. A. Smith y W. D. Ross, Eds. *Works,* vol. VIII. Oxford, Oxford University Press, 1928.

Aristóteles. *Physicis*. En J. A. Smith y W. D. Ross, Eds. *Works,* vol. II. Oxford, Clarendon Press, 1928.

Ashby, W. R. (1956). *An Introduction to Cybernetics*. Nueva York. McGraw-Hill. [*Introducción a la cibernética*. Buenos Aires, Nueva Visión, 1960].

Basri, S. A. (1966). *A Deductive Theory of Space and Time*. Ámsterdam, North Holland.

Bergmann, G. (1960). The philosophical significance of modal logic. *Mind* (N. S.), **69**: 466-485.

Bergmann, H. (1929). *Der Kampf um das Kausagesetz in der jüngsten Physik*. Baunselweig, Vieweg.

Bergson, H. (1903). Introduction à la métaphysique. *Revue de métaphysique et morale*, **11**: 1-36.

Bernays, P. (1937). A system of axiomatic set theory. Part I. *Journal of Symbolic Logic*, **2**: 65-77.
Blalock, H. M. (1961). Evaluating the relative importance of variables. *American Sociological Review*, **26**: 866-874.
Bohm, D. (1970). Further remarks on order. En C. H. Waddington. Ed. *Towards a Theoretical Biology*. Chicago, Chicago University Press. [*Hacia una biología teórica*. Madrid, Alianza, 1976].
Bolzano, B. (1821). *Begriffe*. En E. Winter, *Die historische Bedeutung der Frühbegriffe B. Bolzanos*. Berlín, Akademic-Verlag, 1964.
Bolzano, B. (1837). *Wissenschaftslehre*, 4 vols. Reimpr. Leipzig, Meiner, 1929 y Aalen, Scientia Verlag, 1970.
Bolzano, B. (1849). *Was ist Philosophie?* Ámsterdam, Rodopi, 1969.
Bolzano, B. (1851). *Paradoxes of the Infinite*. Traducción al inglés de D. A. Steele. Londres, Routlege & Kegan Paul, 1950.
Booij, H. L. y H. P. Wolvekamp (1944). *Catenary Processes. Master Reactions and Limiting Factors*. Bibliotheca Biotheoretica, Vol. I, Parte 4. Leiden, E. J. Brill.
Borel, E. (1948). *Le hasard*, 2ª ed. París, Presses Universitaires de France.
Bradley, F. H. (1893). *Appearence and Reality*. Londres, Oxford University Press, 1969.
Braudel, F. (1969). *Écrits sur l›histoire*. París, Flammarion.
Brody, T. A. (1974). Probability: A new look at old ideas. Preimpresión, Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.
Bruck, R. H. (1958). *A Survey of Binary Systems*. Berlín, Gotinga & Heidelberg, Springer-Verlag.
Buchdahl, G. (1969). *Metaphysics and the Philosophy of Science*. Cambridge, MA, MIT Press.
Bunge, M. (1959). *Causality*. Cambridge, MA, Harvard University Press. Reimpreso por The World Publishing Co., 1963. [*La causalidad: el principio de causalidad en la ciencia moderna*. Traducción al castellano de Hernán Rodríguez. Buenos Aires, Sudamericana, 1997].
Bunge, M. (1961). The weight of simplicity in the construction and assaying of scientific theories. *Philosophy of Science* **28**: 129-149. [La simplicidad en la evaluación de teorías. Traducción al castellano de J. Sempere. En *Teoría y realidad*. Barcelona, Ariel, 1985. Pp. 127-184].
Bunge, M. (1964). Phenomenological theories. En M. Bunge, Ed., *The*

Critical Approach, pp. 234-254. Nueva York, Free Press. [Teorías fenomenológicas. Traducción al castellano de J. L. García Molina. En *Teoría y realidad*. Barcelona, Ariel, 1985. Pp. 53-86].
Bunge, M. (1966). On null individuals. *Journal of Philosophy* **63**: 776-778.
Bunge, M. (1967a). *Scientific Research*, 2 vols. Nueva York, Springer–Verlag. Ed. rev.: Nueva Brunswick, Transaction Publishers, 1998. [*La investigación científica*. Traducción al castellano de M. Sacristán. México, Siglo Veintiuno Editores, 2001].
Bunge, M. (1967b). *Foundations of Physics*. Nueva York, Springer–Verlag.
Bunge, M. (1968a). Physical time: the objective and relational theory. *Philosophy of Science* **35**: 355-388.
Bunge, M. (1968b). Physique et métaphysique du temps. *Proceedings of the XIVth International Congress of Philosophy* **II**: 623-629. Viena, Herder.
Bunge, M. (1968c). Conjunction, succession, determination, and causation. *International Journal of Theoretical Physics* 1: 299-315.
Bunge, M. (1969). What are physical theories about? *American Philosophical Quarterly, Monograph* 3: 61-99.
Bunge, M. (1970a). Virtual processes and virtual particles: real or fictions? *International Journal of Theoretical Physics* 3: 507-508.
Bunge, M. (1970b). The arrow of time. *International Journal of Theoretical Physics* 3: 77-78.
Bunge, M. (1971a). Is scientific metaphysics possible? *Journal of Philosophy* **68:** 507-520.
Bunge, M. (1971b). A mathematical theory of the dimensions and units of physical quantities. En M. Bunge, Ed., *Problems in the Foundations of Physics,* pp. 1-16. Nueva York, Springer–Verlag.
Bunge, M. (1972). Time symmetry, time reversal, and irreversibility. En J. T. Fraser y otros. Eds. *The Study of Time*, pp. 122-130. Nueva York, Springer-Verlag.
Bunge, M. (1973a), *Method, Model and Matter.* Dordrecht & Boston, Reidel.
Bunge, M. (1973b). *Philosophy of Physics*. Dordrecht, Reidel.
Bunge, M. (1973c). Review of P. Suppes' Probabilistic Theory of Causality. *British Journal for the Philosophy of Science*. 24, 409-410.
Bunge, M. (1974a). *Sense and Reference*. Vol. 1 de *Treatise on Basic*

Philosophy. Dordrecht & Boston, Reidel. [*Sentido y referencia*. Vol. 1 de *Tratado de filosofía*. Traducción al castellano de R. González del Solar. Barcelona, Gedisa, 2008].

Bunge, M. (1974b). *Interpretation and Truth*. Vol. 2 de *Treatise on Basic Philosophy*. Dordrecht & Boston, Reidel. [*Interpretación y verdad*. Vol. 2 de *Tratado de filosofía*. Traducción al castellano de R. González del Solar. Barcelona, Gedisa, 2009].

Bunge, M. (1974c). The relations of logic and semantics to ontology. *Journal of Philosophical Logic* **3**: 195-209.

Bunge, M. (1974d). Les présupposés et les produits métaphysiques de la science et de la technique contemporanies. Dialogue **13:** 443-453.

Bunge, M. (1974e). The concept of social structure. En W. Leinfellner y E. Köhler (eds.) *Developments in the Methodology of the Social Sciences*. Dordrecht & Boston, Reidel. Pp. 175-215.

Bunge, M. (1974f). Metaphysics and science. *General Systems* **19**: 15-18.

Bunge, M. (1974g). Things. *International Journal of General Systems* 1: 229-236.

Bunge, M. (1975). A critical examination of dialectics. En Ch. Perelman, Ed. *Dialectics/Dialectique*. La Haya, Nijhoff. Pp. 63-77.

Bunge, M. (1976). Possibility and probability. En W. L. Harper & C. A. Hooker, Eds., *Foundations of Probability Theory, Statistical Inference and Statistical Theories of Science*. Dordrecht & Boston, D. Reidel. Vol. III, pp. 17-33.

Bunge, M. (1977a). The GST challenge to the classical philosophies of science. *International Journal of General Systems*. Vol. 4, Nº 1.

Bunge, M. (1977b). States and events. En W. E. Hartnett, Ed., *Systems: Approaches, Theories, Applications*. Dordrecht, Reidel. Pp. 71-95.

Bunge, M. (1977c). The interpretation of Heisenberg's inequalities. En H. Pfeiffer, Ed., *Denken und Umdenken: Zu Werk un Wirkung von Werner Heisenberg*. Munich & Zurich, R. Piper & Co.

Bunge, M. & A. García Máynez. (1977). A relational theory of physical space. *International Journal of Theoretical Physics* 15(12): 961-972.

Bunge, M. & A. Sangalli. (1977). A theory of properties and kinds. *International Journal of General Systems* **3**: 183-190.

Burtt, E. A. (1932). *The Metaphysical Foundations of Physical Science*, ed. rev. Londres, Routledge & Kegan Paul.

Carnap, R. (1928). *Der logische Aufbau der Welt*. Traducción al inglés

de R. A. George. *The Logical Structure of the World*. Berkeley & Los Angeles, University of California Press, 1967. [*La construcción lógica del mundo*. México, Universidad Autónoma de México, 1988].
Carnap, R. (1936-37). Testability and meaning. *Philosophy of Science* **3**: 419- 471; **4**: 1-40.
Carnap, R. (1947). *Meaning and Necessity*. Chicago, University of Chicago Press.
Castañeda, H.-N. (1974). Thinking and the structure of the world. *Philosophia* **4**: 3-40.
Chaitin, G. J. (1974). Information-theoretic limitations of formal systems. *Journal of the Association for Computing Machinery* **21**: 403-424.
Chew, G. (1963). The dubious role of spacer-time continuum in microscopic physics. *Scientific Progress* **51**: 529-539.
Chew, G. (1966). *The Analytic S Matnix*. Nueva York, Benjamin.
Chisholm, Roderick M. Ed. (1960). *Realism and the Background of Phenomenology*. Glencoe, ILL, The Free Press.
Chwistek, L. (1949). *The Limits of Science*. Londres, Routledge & Kegan Paul.
Cocchiarella, N. B. (1972). Properties as individuals in formal ontology. *Noûs* **6**: 165-187.
Cocchiarella, N. B. (1974). Logical atomism and modal logic. *Philosophia* **4**: 41-66.
Collingwood, R. G. (1940). *An Essay on Metaphysics*. Oxford, Clarendon Press.
Costa de Beauregard, O. (1963). *Le second principe de la science du temps*. París, Ed. du Seuil.
Cournot, A.-A. (1851). *Essai sur les fondements de la nos connaissances*. Traducción al inglés con Introducción de M. H. Moore. *An Essay on the Foundations of our Knowledge*. Nueva York, Liberal Arts Press, 1956.
Cresswell, M. J. (1973). Physical theories and possible worlds. *Logique et analyse* (N. S.) 16: 495-511.
Dantzig, D. van (1935). The fundamental equations of electromagnetism, independent of metric geometry. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society* **30**: 421-427.
Dehnen, H. (1970). The frame of reference in relativistic theories. *International Journal of Theoretical Physics* 3: 509-511.

DeWitt, B. S. (1970). Quantum mechanics and reality. *Physics Today* **23**(9): 30-35.
DeWitt, N. W. (1954). *Epicurus and his Philosophy*. Minneapolis, University of Minnessotta Press.
Ducasse, C. J. (1968). *Truth, Knowledge and Causation*. Nueva York, Humanities Press.
Einstein, A. (1916). Grundlagen der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik* 49: 769-822.
Engels, F. 1954 [1878]. *Anti-Dühring*. En K. Marx & F. Engels, *Werke*, Vol. 20. Berlín, Dietz. [*El Anti-Dühring*. Buenos Aires, Claridad, 1967].
Everett, Hugh III. (1957). 'Relative state' formulation of quantum mechanics. *Reviews of Modern Physics* **29**: 454-463.
Falk, G. (1966). Theoretische Physik, I. Berlín, Heidelberg & Nueva York, Springer-Verlag.
Feibleman, J. & J. W. Friend (1945). The structure and function of organization. *Philosophical Review* **54**: 19-44.
Feigl, H. (1967). *The 'Mental' and the 'Physical'*. Minneapolis, University of Minessotta Press.
Feller, W. (1968). *An Introduction to Probability Theories and its Applications* I, 3ra ed. Nueva York & Londres, John Wiley & Sons.
Fine, A. (1964). Physical geometry and physical laws. *Philosophy of Science* 31: 156-162.
Finkelstein, D. (1973). A process conception of nature. En J. Mehra, Ed., *The Physicist's Conception of Nature*. Dordrecht, Reidel. Pp. 709-713.
Fitch, F. B. (1971). Propositions as the only realities. *American Philosophical Quarterly* **8**: 99-103.
Fokker, A. D. (1965). *Time and Space, Weight and Inertia*. Oxford, Pergamon Press.
Fraassen, B. van (1970). *An Introduction to the Philosophy of Space and Time*. Nueva York, Random House.
Fréchet, M. (1939). The diverse definitions of probability. *Erkenntnis*. 8: 7-23.
Gaal, S. A. (1964). *Point Set Topology*. Nueva York, Academic Press.
Gell-Man, M. (1956). The interpretation of the new particles as displaced charge multiplets. *Nuovo Cimento Supplemento* (S. 10) *4*: 848-866.

Giere, R. N. (1974). Objective single-case probabilities and the foundations of statistics. En P. Suppes y otros, Eds., *Logic, Methodology, and Philosophy of Science* IV, pp. 467-483. Ámsterdam, North-Holland, 1974.
Gold, T., Ed. (1967). *The Nature of Time*. Ithaca, NY, Cornell University Press.
Gonseth, F. (1938). *La méthode axiomatique*. París, Gauthier–Villars.
Goodman, N. (1951). *The Structure of Appearance*. Cambridge, MA, Harvard University Press.
Goodman, N. (1956). A world of individuals. En *The Problem of Universals*. Notre Dame, Ind, University of Notre Dame Press. Pp. 15-31.
Grünbaum, A. (1967). *Modern Science and Zeno's Paradoxes*. Middleton, Conn, Wesleyan University Press.
Grünbaum, A. (1973). *Philosophical Problems of Space and Time*. Dordrecht & Boston, Reidel.
Harary, F. (1971). Demiarcs: an atomistic approach to relational systems and group dynamics. *Journal of Mathematical Sociology* **1**: 195-205.
Harré, R. (1961). *Theories and Things*. Londres, Sheerd and Ward.
Harré, R. (1972). *The Philosophies of Science*. Londres & Nueva York, Oxford University Press.
Harris, E. E. (1965). *The Foundations of Metaphysics in Science*. Nueva York, Humanities Press.
Hart, R. G. (1971). A ramiform view of unpredictable events. *American Journal of Physics* 39: 1336-1346.
Hartmann, N. (1938). *Möglichkeit und Wirklichkeit*. Berlín, W. de Gruyter.
Hartnett, W., Ed. (1977). *Systems: Approaches, Theories, Applications*. Dordrecht & Boston, Reidel.
Harvey, D. (1969). *Explanation in Geography*. Nueva York, St. Martin's Press.
Hasenjäger, G. (1966). Logik und Ontologie. *Studium generale* 19(3): 136-140.
Hebb D. (1949). *The Organization of Behavior*. Nueva York, Wiley.
Hegel, G. W. F. (1812-16). *The Science of Logic*. Traducción al inglés de A. V. Miller. Londres, Allen & Unwin, 1969. [*La ciencia de la lógica*. Traducción al castellano de A. y R. Mondolfo. Buenos Aires, Ediciones Solar, 1976].

Heidegger, M. (1927). *Sein und Zeit*. Traducción al inglés de J. Macquarry & E. S. Robinson, *Being and Time*. Nueva York, Harper, 1962. [*Ser y Tiempo*. Traducción al castellano de J. E. Rivera. Santiago, Editorial Universitaria, 1998].

Heidegger, M. (1953). *Einführung in die Metaphysik*. Tubinga, Niemeyer.

Heisenberg, W. (1969). *Der Teil un das Ganze*. Munich, Piper.

Helmholtz, H. von (1873). *Popular Lectures on Scientific Subjects*. Londres, Longman, Green & Co.

Hilbert, D. (1899). *Grundlagen der Geometrie*. Leipzig. Traducción al inglés de E. J. Townsend, Foundations of Geometry. La Salle, Ill, Open Court, 1902.

Hintikka, J. (1969). *Models for Modalities*. Dordrecht, Reidel.

Hirsch, M. & S. Smale (1974). *Differential Equations, Dynamical Systems, and Linear Algebra*. Nueva York, New York University Press.

Hiż, H. (1971). On the abstractness of individuals. En M. K. Munitz, Ed., *Identity and Individuation*. Nueva York, New York University Press. Pp. 251-261.

Hooker, J. D. (1853-55). *Flora Novae Zelandae;* vol. 2 de *The Botany of the Antarctic Voyage of H. M. Discovery Ships* Erebus *and* Terror *in the Years 1839-1843, etc*. Londres, Reeve Brothers, 1844-1860.

Hughes, G. F. & M. J. Cresswell (1968). *An Introduction to Modal Logic*. Londres, Methuen.

Hume, D. (1739-1740). *A Treatise of Human Nature*. L. A. Selby-Bigge, Ed. Oxford, Clarendon Press, 1888.

Huntington, E. V. (1913). A set of postulates for abstract geometry, expressed in terms of the simple relation of inclusion. *Mathematische Annalen* **73**: 522-559.

Jammer, M. (1954). *Concepts of Space*. Cambridge, MA, Harvard University Press.

Jensen, U. J. (1972). Conceptual epiphenomenalism. *The Monist* 56: 250-275.

Kant, I. (1781). *Kritik der Reinen Vernunft*. Hamburgo, F. Meiner, 1952.

Keynes, J. M. (1921). *A Treatise on Probability*. Londres, Macmillan.

Klir, G., Ed. (1972). *Trends in General Systems Theory*. Nueva York, Wiley-Interscience.

Kneale, W. & M. (1962). *The Development of Logic*. Oxford, Clarendon Press. [*El desarrollo de la lógica*. Traducción al castellano de J. Muguerza. Madrid, Tecnos, 1972].

Körner, S. (1970). *Categorial Frameworks*. Oxford, Basil Blackwell.
Koyré, A. (1957). Galileo and Plato. En P. P. Wiener & A. Noland, Eds., *Roots of Scientific Thought*. Nueva York, Basic Books, pp. 147-175.
Kripke, S. (1959). A completeness theory in modal logic. *Journal of Symbolic Logic* **24**: 1-15.
Kripke, S. (1971). Naming and necessity. En D. Davidson & G. Harman, Eds., *Semantics of Natural Languages*. Dordrecht, D. Reidel Publ. Co.
Kulakov, Ju. I. (1970). The geometry of spaces of constant curvature as a special case of the theory of physical structures. *Soviet Mathematics Doklady* **11**: 1055-1057.
Lakatos, I. (1969). Criticism and the methodology of scientific research programs. *Proceedings of the Aristotelian Society* 69: 149-186.
Lambert, J. H. (1770). Letter to I. Kant, 13.10.1770. En H. E. Fischer, Ed. *Briechwechsel von Imm. Kant*, 3 vols. Munich, Georg Müller, 1912.
Leibniz, G. W. von (1704). *Nouveaux essais*. París, Flammarion, s.d.
Leibniz, G. W. von (1956). *Philosophical Papers and Letters*. L. H. Loemker, Ed. 2 vols. Chicago, University of Chicago Press.
Lejewski, C. (1967). A single axiom for the mereological notion of proper part. *Notre Dame Journal of Formal Logic* **8**: 279-285.
Leonard, H. S. & N. Goodman (1940). The calculus of individuals and its uses. *Journal of Symbolic Logic* **5**: 45-55.
Lévi-Strauss, C. (1958). *Anthropologie structurale*. París, Plon. [*Antropología estructural*. Traducción al castellano de J. Almela. Madrid, Siglo Veintiuno, 1997].
Lewes, G. H. (1879). *Problems of Life and Mind*. Londres, Trubner.
Lewis, C. I. (1923). Facts, systems, and the unity of the world. *Journal of Philosophy* 20: 141-151.
Lewis, C. I. (1946). *An Analysis of Knowledge and Valuation*. La Salle, ILL, Open Court.
Lewis, C. I. & C. H. Langford (1932). *Symbolic Logic*. Nueva York, Century.
Lewis, D. (1973). *Counterfactuals*. Oxford, Basil Blackwell.
Ljapin, E. S. (1963). *Semigroups*. Providence, R. I., American Mathematical Society.
Locke, J. (1689). *An Essay Concerning Human Understanding*. Londres, Routledge. [*Ensayo sobre el entendimiento humano*. Traducción al castellano de M. E. García. Madrid, Editora Nacional, 1980].

Lotze, H. (1887). *Metaphysics*, 2 vol., 2a ed. Traducción al inglés y edición de B. Bosanquet. Oxford, Clarendon Press.

Lovejoy, Arthur O. (1936). *The Great Chain of Being*. Cambridge, MA, Harvard University Press. [*La gran cadena del ser*. Traducción de A. Desmonts. Barcelona, Icaria, 1983].

Lucas, J. R. (1973). *A Treatise on Time and Space*. Londres, Methuen.

Luce, R. (1960). The theory of selective information and some of its behavioral applications. En R. D. Luce, Ed., *Developments in Mathematical Psychology*. Glencoe, ILL, Free Press, pp. 5-119.

Lucrecio (55 a.n.e.?). *De rerum natura*. Traducción al inglés de W. E. Leonard, *Of the Nature of Things*. Londres, J. M. Dent; Nueva York, E. P. Dutton, 1921. [*La naturaleza*. Traducción al castellano de F. Socas Gavilán. Madrid, Editorial Gredos, 2003].

Ludwig, G., Ed., (1964). *Raum und Zeit als Probleme der Naturwissenschaften*. Friburgo, Karl Alber.

Łukasiewicz, J. (1970). *Collected Works*, L. Borkowski, Ed., Ámsterdam, North–Holland.

Mach, Ernst. (1872). *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, 2da ed. Leipzig, Barth, 1909.

Mach, Ernst. (1883). *Die Mechanik in ihre Entwicklung historisch-kritisch dargestellt,* 4ta ed. Leipzig, Brockhaus, 1901.

Mach, Ernst. (1906). *Die Analyse der Empfindungen*, 5ta ed. Jena, Gustav Fischer.

Marcus, R. B. (1968). Model Logic. En R. Klibansky Ed., *Contemporary Philosophy*, Vol. I. Firenze, La Nuova Italia Editrice, pp. 87-101.

Margenau, H. (1941). Metaphysical elements in physics. *Reviews of Modern Physics* **13**: 176-189.

Margenau, H. (1950). *The Nature of Physical Reality*. Nueva York, McGraw-Hill Book Co.

Margenau, H. (1966). Exclusion principle and measurement theory. En P. O. Löwdin, Ed., *Quantum Theory of Atoms, Molecules, Solid State*. Nueva York, Academic Press, pp. 81-91.

Martin, R. M. (1965). Of time and null individual. *Journal of Philosophy* **62**: 723-736.

Maxwell, J. C. (1892). *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3ra ed. Oxford, Oxford University Press.

McGivalry, E. B. (1951). Space-time, simple location, and prehension.

En P. A. Schilpp, Ed. *The Philosophy of Alfred North Whitehead*, 2da ed. Nueva York, Tudor Publ. Co.
Meinong, A. (1904). *The Theory of Objects*. En R. M. Chisholm (1960), pp. 76-117.
Meinong, A. (1915). *Über Möglichkeit und Wahrscheinlichkeit*. Leipzig, J. A. Barth.
Mellor, D. H. (1971). *The Matter of Chance*. Cambridge, Cambridge University Press.
Melvin, M. A. (1960). Elementary particles and symmetry principles. *Reviews of Modern Physics* **32**: 477-518.
Mendelson, E. (1963). *Introduction to Mathematical Logic*. Princeton, NJ, D. Van Nostrand.
Mesarović, M. D. & Y. Takahara (1975). *General Systems Theory*. Nueva York, Academic Press.
Minkowski, H. (1908). Space and time. En H. A. Lorentz y otros, *The Principle of Relativity*. Nueva York, Docer s. d., pp. 73-91.
Misner, C. W., K. S. Thorne & J. A. Wheeler (1973). *Gravitation*. San Francisco, Freeman.
Montagu, W. P. (1925). *The Ways of Knowing*. Londres, Allen & Unwin.
Montague, R. (1960). Logical necessity, physical necessity, ethics and quantifiers. *Inquiry* **3**: 259-269.
Montague, R. (1974). *Formal Philosophy*. Artículos selectos de R. M. editados por R. Thomason. New Haven, Yale University Press.
Munitz, M. K., Ed. (1971). *Identity and Individuation*. Nueva York, New York University Press.
Munitz, M. K., Ed. (1973). *Logic and Ontology*. Nueva York, New York University Press.
Naess, A. (1972). *The Pluralist and Possibilist Aspect*. Oslo, Universitetsforlaget; Londres, Allen & Unwin.
Neumann, J. von (1932). *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*. Berlín, J. Springer.
Newton, Isaac. (1704). *Opticks. En Opera quae exstant omnia*, vol. IV. Londres, Nichols, 1782.
Nicod, Jean. (1923). *La géométrie dans le monde sensible*. París, Presses Universitaires de France, 1962.
Noll, W. (1967). Space-time structures in classical mechanics. En M. Bunge, Ed., *Delaware Seminar in the Foundations of Physics*. Nueva York, Springer-Verlag, pp. 28.34.

Ockham, W. (ca. 1320). Summa totius logicae. En P. Boehner, Ed., *Ockham: Philosophical Writings*. Edimburgo, Nelson, 1957.
Ostwald. Wilhelm. (1902). *Vorlesungen über Naturphilosophie*. Leipzig, Veit & Comp.
Padulo, L. & M. Arbib (1974). *System Theory*. Philadelphia: W. B. Saunders.
Peirce, C. S. (1892-93). *Scientific Metaphysics*. Vol. IV de *Collected papers*. C. Hartshorne & P. Weiss, Eds. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1935.
Peña, L. de la (1969). New formulation of stochastic theory and quantum mechanics. *Journal of Matehmatical Physics* **10**: 1620-1630.
Peña, L. de la & A. M. Cetto (1975). Stochastic theory for quantum mechanical systems. *Foundations of Physics* **5**: 355-373.
Penney, R. (1965). On the dimensionality of the real world. *Journal of Mathematical Physics* 6: 1607-1611.
Penrose, R. (1971). Angular momentum: an approach to combinatorial spacetime. En T. Bastin, Ed., *Quantum Theory and Beyond*. Cambridge, Cambridge University Press.
Pielou, E. C. (1969). *An Introduction to Mathematical Ecology*. Nueva York, Wiley-Interscience.
Plantinga, A. (1974). *The Nature of Necessity*. Nueva York, New York University Press.
Popper, K. R. (1957). The propensity interpretation of the calculus of probability, and the quantum theory. En S. Körner, Ed., *Observation and Interpretation*. Londres, Butterworths Scientific Publications, pp. 65-70.
Popper, K. R. (1963). The demarcation between science and metaphysics. En Schilpp, Ed., *The Philosophy of Rudolph Carnap*. La Salle, ILL, Open Court, pp. 877-881.
Popper, K. R. (1968). On the theory of the objective mind. Reimpreso en *Objective Knowledge*. Oxford, Clarendon Press, pp. 153-190. [*Conocimiento objetivo*. Traducción al castellano de C. Solís, Madrid, Tecnos, 1974].
Popper, K. R. (1974). Autobiography. En Schilpp, Ed. (1974), Libro I, pp. 3-181.
Putnam, H. (1969). On properties. En N. Rescher, Ed., *Essays in Honor of Carl G. Hempel*. Dordrecht, Reidel, pp. 235-254.
Quine, W. V. (1954). Reduction to a dyadic predicate. Reimpreso en

Selected Logic Papers. Nueva York, Random House, 1966, pp. 224-226.
Quine, W. V. (1963). *Set Theory and its Logic*. Cambridge, MA. The Belknap Press of Harvard University Press.
Quinton, A. (1973). *The Nature of Things*. Londres & Boston, Routledge & Kegan Paul.
Raggio, A. R. (1969). Was heisst 'Bedingungen der Möglichkeit'? *Kant Studien* 60: 153-165.
Rashevsky, N. (1960). *Mathematical Biophysics*, 3ra ed. Nueva York, Dover.
Regge, T. (1967). Review of Chew's book (Chew 1966). *Physics Today* 20(9): 82-87.
Reichenbach, H. (1928). *The Philosophy of Space and Time*. Nueva York, Dover, 1957.
Reichenbach, H. (1956). *The Direction of Time*. Berkeley, University of California Press.
Rescher, N. (1975). *A Theory of Possibility*. Oxford, Basil Blackwell.
Rescher, N. & A. Urquhart (1971). *Temporal Logic*. Viena & Nueva York, Springer-Verlag.
Robb, A. A. (1914). *A Theory of Time and Space*. Cambridge, Cambridge University Press.
Robb, A. A. (1921). *The Absolute Relations of Time and Space*. Cambridge, Cambridge University Press.
Robb, A. A. (1936). *Geometry of Time and Space*. Cambridge, Cambridge University Press.
Rosenblueth, A. (1970). *Mind and Brain: a Philosophy of Science*. Cambridge, MA, MIT Press.
Russell, B. (1900). *A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz*. Cambridge, Cambridge University Press.
Russell, B. (1914). *Our Knowledge of the External World*. Londres, Allen & Unwin.
Russell, B. (1918). The philosophy of logical atomism. *The Monist* **28**: 495-527; **29**: 32-63, 190-222, 345-380. Reimpreso en *Logic and Knowledge*, R. C. Marsh, Ed. Londres, Allen & Unwin, 1956, pp. 175-281.
Russell, B. (1940). *An Inquiry Into Meaning and Truth*. Londres, George Allen & Unwin. [*Investigación sobre el significado y la verdad*. Traducción al castellano de J. R. Armengol. Buenos Aires, Losada, 1946].

Russell, B. (1948). *Human Knowledge: Its Scope and Limits*. Londres, George Allen & Unwin. [*El conocimiento humano: su alcance y sus límites*. Traducción al castellano de A. Tovar. Madrid, Taurus,1964].
Rutherford, D. E. (1965). *Introduction to Lattice Theory.* Edimburgo & Londres, Oliver & Boyd.
Ryle, G. (1949). *The Concept of Mind*. Londres, Hutchinson. [*El concepto de lo mental*. Traducción al castellano de E. Rabossi. Barcelona, Paidós, 2005]
Schilpp, P. A., Ed. (1974). *The Philosophy of Karl Popper*, 2 vols. La Salle, ILL, Open Court.
Schlick, M. (1963). *Space and Time in Contemporary Physics*. Nueva York, Dover. [*Espacio y tiempo en la física actual*. Traducción al castellano de M. García Morente. Calpe, Madrid, 1921].
Scholz, H. (1941). *Metaphyisik als strenge Wissenschaft*. Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1965.
Schreider, Ju. A. (1975). *Equality, Resemblance, and Order.* Traducción al inglés de M. Greendlinger. Moscú, MIR Publishers.
Schulz, C. M. (1967). *You're you Charlie Brown*. Nueva York, Holt, Rinehart & Winston.
Scott, D. (1970). Advice on modal logic. En K. Lambert, Ed., *Philosophical Problems in Logic: Some Recent Developments*. Dordrecht, Reidel.
Sellars, W. (1963). *Science, Perception, and Reality.* Londres, Routledge & Kegan Paul. [*Ciencia, percepción y realidad*. Traducción de V. Sánchez Zavala. Madrid, Tecnos, 1971].
Settle, T. (1974). Induction and probability unfused. En Schilpp, Ed., 1974, Libro II, pp. 697-749.
Shea, W. (1972). *Galileo's Intellectual Revolution*. Londres, Macmillan.
Sinnot, E. W. (1963). *The Problem of Organic Form*. New Haven, Yale University Press.
Smart, J. J. C., Ed. (1963). *Philosophy and Scientific Realism*. Nueva York, Humanities Press.
Smart, J. J. C. (1964). *Problems of Space and Time*. Nueva York, Macmillan.
Sneath, P. H. & R. R. Sokal (1973). *Numerical Taxonomy.* San Francisco & Londres, Freeman.
Sobociński, B. (1954-55). Studies in Leśniewski's mereology. *Polskie Towarzystwo Naukowe na Obezyźnie Yearbook*, Londres.

Stapp, H. P. (1971). S-Matrix representation of quantum theory. *Physics Review D*. 3: 1303-1320.
Stapp, H. P. (1977). Theory and reality. *Foundations of Physics* 7(5-6): 313-323.
Stiehler, G. (1967). *Der dialektischer Widerspruch,* 2da ed. Berlín, Akademie-Verlag.
Strauss, M. (1970). Intertheory relations. En P. Weingartner & G. Zecha, Eds., *Induction, Physics, and Ethics*. Dordrecht, Reidel.
Strawson, P. F. (1971). *Individuals*. Londres, Methuen & Co. Ltd.
Suppes, P. (1970). A Probabilistic Theory of Causality. *Acta Philosophica Fennica* XXIV. Ámsterdam, North Holland.
Suppes, P. (1974). *Probabilistic Metaphysics*, 2 vols. Uppsala, Filosofiska Studier.
Tarski, A. (1927). Foundations of the geometry of solids. En *Logic, Semantics, Metamathematics*. Traducción al inglés de J. H. Woodger. Oxford, Clarendon Press, 1956, pp. 24-29.
Tarski, A. (1944). The semantic conception of truth. *Philosophical and Phenomenological Research* **4**: 341-375.
Tarski, A. (1954). Contributions to the theory of models I, II. *Indagationes Mathematicae* **17**: 572-588.
Teilhard de Chardin, P. (1964). *The Phenomenon of Man*. Nueva York, Harper. [*El fenómeno humano*. Traducción al castellano de M. Crusafont Pairó. Buenos Aires, Orbis, 1984].
Teller, P. (1975). Essential properties: some problems and conjectures. *Journal of Philosophy* **72**: 233-248.
Terletskii, Ya. P. (1971). *Statistical Physics*. Ámsterdam, North-Holland; Nueva York, Elsevier.
Trautman, A. (1965). Foundations and current problems of general relativity. En A. Trautman, F., A. E. Pirani & H. Bondi, *Lectures on General Relativity* I. Englewood Cliffs, Prentice Hall, pp. 1-248.
Tripathi, R. K. (1969). The central problem of Indian metaphysics. *Philosophy of East and West* **19**: 39-43.
Truesdell, C. (1974). A simple example of an initial value problem with any desired number of solutions. *Rendiconti dell'Istituto Lombardo*, Classe di Scienze (A) **108**: 301-304.
Ujomov, A. I. (1965). *Dinge, Eigenschaften und Relationen*. Berlín, Akademie-Verlag.
Vuillemin, J. (1971). *La logique et le monde sensible*. París, Flammarion.

Wallace, A. D. (1941). Separation spaces. *Annals of Mathematics* **42**: 687-697.
Walsh, W. H. (1963). *Metaphysics*. Londres, Hutchinson.
Weiss, P. (1963). The cell as unit. *Journal of Theoretical Biology* **5**: 389-397.
Weyl, H. (1940). The evasive ghost of modality. En M. Farber, Ed., *Philosophical Essays in Memory of Edmund Husserl*. Cambridge, MA, Harvard University Press, pp. 278-303.
Weyl, H. (1949). *Philosophy of Mathematics and Natural Science*. Princeton, Princeton University Press.
Wheeler, J. A. (1962). *Geometrodymanics*. Nueva York, Academic Press.
Whitehead, A. N. (1919). *An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge*. Cambridge, Cambridge University Press.
Whitehead, A. N. (1920). *The Concept of Nature*. Reimpresión de University of Michigan Press, 1957.
Whitehead, A. N. (1929). *Process and Reality*. Nueva York, Macmillan. Reimpresión de 1969.
Whitrow, G. J. (1961). *The Natural Philosophy of Time*. Londres, Thomas Nelson. Paperback, Harper Torchbooks, 1963.
Williams, D. C. (1937-38). The realistic interpretation of scientific sentences. *Erkenntnis* 7: 169-178; 375-382.
Williams, D. C. (1953). On the elements of being. *Review of Metaphysics* 7: 3-18; 171-192.
Wilson, N. L. (1955). Property and description. *Philosophical Reviews* **64**: 389-404.
Wittgenstein, L. (1922). *Tractatus Logico-Philosophicus*. Londres, Routledge & Kegan Paul. Edición revisada, 1951. [*Tractatus logico-philosophicus*. Traducción al castellano de L. Valdés Villanueva. Madrid, Tecnos, 2002].
Wittgenstein, L. (1969). *Über Gewissheit*. Editado por G. E. M. Anscombe & G. H. von Wright. Oxford, Basil Blackwell.
Woodger, J. H. (1929). *Biological Principles*. Londres, Routledge & Kegan Paul.
Woodger, J. H. (1939). *The Technique of Theory Construction*. Chicago, University of Chicago Press.
Woodger, J. H. (1951). Science without properties. *British Journal for the Philosophy of Science* **2**: 193-216.
Yessenin-Volpin, A. S. (1970). The ultra-intuitionistic criticism and the

antitraditional program for foundations of mathematics. En A. Kino, J. Myhill & R. E. Wesley, Eds., *Intuitionism and Proof Theory*. Ámsterdam, North-Holland, pp. 3-45.

Yukawa, H. (1973). *Creativity and Intuition*. Traducción al inglés de J. Bester. Tokio, Kodansha International.

Zadeh, L. A. & C. A. Desoer (1963). *Linear System Theory; the State Space Approach*. Nueva York, McGraw-Hill.

Zeeman, E. C. (1962). The topology of the brain and visual perception. En M. K. Fort Jr., Ed., *Topology of 3-Manifolds*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall.

Índice de nombres

Índice de materias