¿ES POSIBLE UNA METAFÍSICA CIENTÍFICA? *

Mario Bunge

I. Tres clases de metafísica

La metafísica vuelve y lo está haciendo bastante bien si tenemos en cuenta que durante los dos siglos pasados se había declarado su muerte varias veces. Llega en tres diferentes modalidades: la vulgar, la exacta y la científica. La metafísica vulgar abarca desde el sinsentido elaborado, pasando por el arcaico sentido común, hasta el profundo, sofisticado y ya pasado de moda buen sentido. A pesar de que es una rica mina de problemas y cuestiones, la metafísica vulgar está demasiado alejada del conocimiento contemporáneo. Por otra parte, la metafísica exacta, tal como está ejemplificada por el llamado "cálculo de individuos" y por algunas teorías recientes de la posibilidad y del tiempo, se hace con la ayuda explícita de los instrumentos lógicos y matemáticos contemporáneos. Es una prueba viva de que la metafísica no tiene por qué ser oscura ni por qué estar en malas relaciones con la lógica. Demasiado a menudo, sin embargo, la metafísica exacta descuida la tradición filosófica o no se preocupa mucho de la ciencia, tendiendo por consiguiente a transformarse en un fútil ejercicio de lógica aplicada. La metafísica científica es más ambiciosa, intenta resolver algunos de los problemas que la metafísica vulgar deja de lado, se enfrenta a nuevos problemas y procura estar en armonía tanto con la ciencia formal como con la factual.

* Publicado en inglés en *The Journal of Philosophy,* LXVIII, núm. 17, septiembre, 1971. Traducido para *Teorema* por Miguel A. Quintanilla, con el permiso de los editores y de su autor.

El objetivo de este artículo es indagar la posibilidad de esta última alternativa. Pero antes permítasenos proponer una caracterización más precisa del objeto de nuestra investigación. Puede decirse que una opinión constituye una pieza de metafísica científica solamente en el caso de que satisfaga las siguientes condiciones:

(i) Concierne a "las características más generales de la realidad y de los objetos reales" (Peirce [1]) más que a las características de objetos ilusorios.

(ii) Es sistemática, es decir, es una teoría o parte de una teoría (sistema hipotético-deductivo) más bien que un conglomerado de opiniones.

(iii) Hace uso explícito de la lógica o de las matemáticas.

(iv) Es compatible con la ciencia natural e incluso es una continuación de ésta.

(v) Dilucida conceptos clave de la filosofía o de los fundamentos de la ciencia.

(vi) Puede hacerse que figure entre los presupuestos de una teoría científica o puede transformarse en una teoría científica por especificación o adición de hipótesis específicas.

La condición (i) es necesaria para las tres clases de metafísica. (Pero no lo es para la de Tomás de Aquino que, a diferencia de la de Aristóteles, coincide con la teología.) Las condiciones (i), (ii), (iii) son, las tres juntas, necesarias y suficientes para la metafísica exacta. Las tres condiciones restantes caracterizan a la metafísica científica por contraste tanto con la metafísica vulgar como con la exacta. Por consiguiente, si la metafísica científica existe, entonces engloba las partes formales y científicas más importantes de las otras dos.

[1] C. S. Peirce, Collected Works, 6,6,C. Hartshorne y P. Weiss edit. (Cambridge, Mass.: Harvard, 1935). Véase también M. Born, *Physics in My Generation* (London, Pergamon Press, 1956), p. 94: la metafísica es "una investigación de las características generales de la estructura del mundo y de nuestro método para tratar de aquella estructura".

La condición (i) de extrema generalidad hace que sea imposible para una teoría metafísica emitir predicciones definidas. De aquí que, siguiendo a Peirce,[2] la metafísica no pueda ser una ciencia de observación excepto de forma subsidiaria, es decir, por mediación de la ciencia. En este punto estamos, pues, de acuerdo con la tradición. Además, por la misma razón, la metafísica a duras penas puede ser refutable sobre bases puramente empíricas, lo mismo que ocurre con cualquier otro conjunto de teorías que no haga predicciones definidas. Esto no implica que la metafísica deba ser separada de la ciencia: si fuera así, ninguna de las condiciones (iv) a (vi) podría cumplirse jamás.

Aunque una teoría metafísica no pueda ser ni confirmada ni refutada por datos empíricos, puede ser o bien relevante para la ciencia, o bien inútil respecto a ella. Si es relevante, puede eventualmente llegar a ser una teoría científica después de haber sido enriquecida con supuestos específicos. O puede mostrarse que constituye un supuesto (una parte del trasfondo) de alguna teoría científica. (Así toda teoría científica que tenga que ver con alguna clase de cambio presupone alguna teoría del tiempo.) Los supuestos metafísicos de una teoría científica no están colgados del aire: no son especulaciones gratuitas, sino que vienen y van con la teoría. Si acaso la metafísica científica es menos libre que las matemáticas; porque debe superar no sólo la prueba de la coherencia interna, sino también la de la consistencia con la ciencia y la de la relevancia para la filosofía.

Habiendo caracterizado y elogiado la clase de las teorías de la metafísica científica debemos mostrar que no es una clase vacía. Pero antes de hacer esto, sería útil ver cómo se pueden ir construyendo teorías en la metafísica científica.

II. Construcción de teorías en la metafísica científica

Cualquier medio debería estar permitido en la construcción de una teoría metafísica con tal de que conduza a una

[2] Peirce, op. cit. 6.5.

buena teoría: tomar elementos de otros campos, hacer analogías, extrapolar, buscar modelos de teorías abstractas y, por supuesto, inventar teorías radicalmente nuevas. Aquí, como en la ciencia y en las matemáticas, no hay vía regia y las teorías se juzgan por sus obras, no por sus andamios. Sin embargo es útil saber qué tipo de caminos se nos abren, porque entonces podremos probarlos según nuestras necesidades o caprichos. Seamos, pues, más explícitos.

Los principales caminos (no métodos) por los que se puede llegar a obtener teorías para la metafísica científica parecen ser los siguientes:

(i) *Apropiarse teorías de la ciencia o de la tecnología* sin modificarlas (o casi sin modificarlas). Ejemplo: la teoría de los autómatas (sección V).

(ii) *Adaptar o generalizar una teoría científica existente.* Ejemplo: generalizar el álgebra de las reacciones químicas para obtener una teoría del análisis y la síntesis (sección IV).

(iii) *Dotar de contenido metafísico a un formalismo matemático ya dispuesto.* Ejemplo: convertir la teoría de anillos en una teoría general de la yuxtaposición y la superposición (sección III).

(iv) *Formalizar intuiciones de la metafísica vulgar.* Ejemplo: construir una teoría general del cambio cualitativo.

(v) *Revisar a fondo teorías de la metafísica exacta.* Ejemplo: revisar la teoría de Whitehead del espacio y el tiempo para hacerla consistente con la relatividad física y con la geometría multidimensional y liberarla de ingredientes fenomenalistas.

(vi) *Construir teorías nuevas.* Ejemplo: construir una teoría exacta de los niveles de integración.

En las siguientes secciones ilustraremos las tres primeras estrategias. Comenzaremos con un ejemplo muy simple.

III. Metafísica sacada de las matemáticas: teoría de ensamblajes *

Algunas teorías matemáticas son otras tantas estructuras prefabricadas en espera de que se les asigne un contenido metafísico. Por ejemplo, la teoría de la probabilidad, de la que tanto se ha abusado y tan esterilmente en otras ramas de la filosofía, proporciona no sólo una dilucidación exacta de los conceptos modales, sino también una articulación de una serie de ideas sobre la posibilidad y la casualidad. La teoría de grupos de transformaciones es un recurso adecuado para una teoría general de los cambios reversibles. Y la teoría de las categorías puede resultar adecuada para una teoría general del cambio cualitativo. Una exploración metódica de todo el campo de las matemáticas puras daría como resultado un gran número de estructuras relevantes para la metafísica. Mostremos una de éstas: la teoría de anillos que adoptaremos como el formalismo de la teoría de ensamblajes o teoría general de la yuxtaposición y la superposición, así como de las partes y los todos.

Primero la idea intuitiva: dos lápices, ya estén uno al lado de otro o no, constituyen un tercer sistema que resulta de la yuxtaposición o suma física de las entidades dadas. Por otra parte el chocolate con leche resulta de la superposición o mezcla (pero no síntesis) de dos sistemas. Podemos designar la yuxtaposición (o adición física) con el signo '+' y la superposición (o multiplicación física) con '×'. Estas dos operaciones pueden ser reguladas de diferentes formas. Investigaremos ahora la forma que consiste en dar una interpretación adecuada de la teoría de anillos.

Un anillo es una estructura $S = \langle S, +, \cdot, 0, 1 \rangle$, donde S es un conjunto, 0 y 1 son elementos seleccionados de S, y $+$ y $\cdot$ son operaciones binarias en S tales que:

(i) $\langle S, +, 0 \rangle$ es un grupo abeliano respecto a la adición; esto es, S es cerrado respecto a $+$, $+$ es asociativa y

* "Assembly theory" en el original. N. T.

conmutativa en S, y todo elemento x de S tiene un inverso aditivo $-x$ que satisface $-x + x = 0$.

(ii) $<S, \cdot , 1$ es un monoide (semigrupo con elemento unidad) respecto a la multiplicación; es decir, S es cerrado respecto a $\cdot$, esta operación es asociativa en S y, para todo x en S, $1 \cdot x = x$.

(iii) La multiplicación es bidistributiva con respecto a la adición; es decir, si x, y y z están en S, entonces

(a) $x \cdot (y + z) = (x \cdot y) + (x \cdot z)$
(b) $(x + y) \cdot z = (x \cdot z) + (y \cdot z)$

La interpretación metafísica que sugerimos está dada por el siguiente código:

Interpr (S) = el conjunto de todos los sistemas
Interpr (0) = individuo cero
Interpr (1) = el mundo
Interpr (+) = yuxtaposición (+).
Interpr (·) = superposición (×).

Estas fórmulas semánticas, junto con los postulados matemáticos precedentes, constituyen el fundamento axiomático de nuestra teoría de ensamblajes. El resto son definiciones o teoremas. Pero antes de pasar a éstos será conveniente poner un ejemplo. Sean a, b, c muestras de diferentes líquidos inicialmente en recipientes separados. El sistema resultante es $a + b +$ con $a \times b = a \times c = b \times c = 0$ y $a + 1 = b + 1 = c + 1 = 1$. Saquemos ahora uno de los sistemas, por ejemplo a: el resultado es $a + b + c — a = = b + c$. Finalmente volvamos a meter a y mezclémosle con b y c. El sistema resultante es (a × b) + (a × c), de acuerdo con la ley distributiva. Nótese que el mundo ha estado "allí" (matemáticamente: 1 estaba en S) todo el tiempo, incluso mientras restringíamos nuestra atención a nuestros tres sistemas parciales.

La teoría de ensamblajes es el contexto natural para dilucidar algunos importantes conceptos metafísicos que aparecen en toda teoría científica que trate de sistemas complejos.

Son los conceptos introducidos por las siguientes convenciones:

Def. 1. Un sistema z está *compuesto aditivamente* de los sistemas x e y si, y sólo si, $z = x + y$.

Def. 2. Un sistema z está *compuesto multiplicativamente* de los sistemas x e y si, y sólo si, $z = x \times y$.

Def. 3. Un sistema es *compuesto* si, y sólo si, está compuesto ya sea aditiva ya sea multiplicativamente.

Def. 4. Un sistema es *atómico* si, y sólo si, no es compuesto.

Def. 5. Si x e y son sistemas, entonces x es una *parte* de y si, y sólo si, $x + y = y$ o $x \times y = x$. Símbolo: $x \in y$.

Def. 6. Dos sistemas x e y son *separados* si, y sólo si, su superposición es nula.

Es fácil probar que la relación $\in$, parte-todo, introducida por la definición 5 es (a diferencia de la relación de "ser parte de") una relación de ordenación parcial. Además, puesto que $\in$ está definida en términos de yuxtaposición (o de superposición), y puesto que esta relación se puede aplicar a dos miembros cualesquiera de S, resulta que podemos probar lo siguiente:

Teorema: La totalidad S de sistemas está parcialmente ordenada por la relación $\in$ de parte-todo.

Algunos subsistemas de S estarán ordenados linealmente. Cada una de tales cadenas comenzará por la cosa cero (0) y terminará en el mundo (1). Adviértase que este último no es lo mismo que el conjunto S de todos los sistemas: el universo es un individuo —un individuo compuesto, no como el de Parménides, pero tampoco un conjunto. El que tiene la estructura de anillo no es el mundo, es decir, 1, sino el conjunto S de todos los sistemas, que es también el conjunto de todas las partes del mundo. (No hay que confundir el conjunto S de todas las partes del mundo con la familia de subconjuntos de S, es decir, con el conjunto potencia de S). Y nótese que el individuo cero (0) no es lo mismo que la nada ($\emptyset$).

No desarrollaremos más la teoría de ensamblajes en este trabajo, aunque la teoría de anillos podría ciertamente utilizarse para derivar de ella una serie de teoremas metafísicos. Cerramos nuestra exposición con una observación sobre la existencia. Nuestros sistemas son meros individuos sin otras propiedades que las de pertenecer a S, yuxtaponerse y superponerse. Por consiguiente podemos explicar "*a* existe" como "*a* es un sistema", es decir, "*a* pertenece a S". Esto es, la existencia puede construirse como un predicado —sin embargo no como un predicado unario, sino como el complejo predicado "ϵ" de la teoría de conjuntos. Podemos, pues, distinguir dos conceptos de existencia: cualificado y no cualificado. El primero es el concepto dilucidado en la teoría de la cualificación, mientras que la existencia no cualificada consiste en pertenecer a un conjunto de sistemas que no necesitan compartir más propiedades que la de pertenecer a ese conjunto. En la teoría de ensamblajes, que no se preocupa de propiedades intrínsecas, es suficiente la existencia no cualificada.

La nuestra no es la única dilucidación y sistematización posible de las ideas intuitivas de yuxtaposición, superposición y sus afines. Para comenzar existe el sistema de mereología propuesto por Leśniewski [3] y explicado por Leonard y Goodman. [4] Es bastante complicado, no es una de las teorías matemáticas estándar y no resuelve gran cosa. En modo alguno parece proporcionar una formalización satisfactoria de la idea de superposición o interpenetración. Además *existe una teoría anterior, propuesta por mí mismo,* que consiste en un cierto modelo del álgebra booleana. [5] Finalmente serían posibles más alternativas.

¿Cómo elegir entre estas formulaciones rivales de la teoría de montajes? Debemos comprobar cuál de ellas se acomoda mejor a las condiciones estipuladas en la sección I. Las

[3] Ver S. Sobocinski, "Studies in Leśniewski's Mereology", *Polskie Tozarzystswo na Obczyźnie Yearbook* (London, 1954/55).

[4] H. S. Leonard y N. Goodman, "The calculus of Individuals and Its Uses", *Journal of Symbolic Logic,* v, 2 (junio 1940): 45-55.

[6] Ver mi *Foundations of Physics* (New York: Springer Verlag, 1967), cap. 2, secc. 5.

tres alternativas exploradas hasta ahora satisfacen las condiciones (i) a (iii) para la metafísica exacta; más aún satisfacen también la condición (iv). Pero los llamados cálculos de individuos o sistemas de mereología no satisfacen plenamente la condición (v) en la medida en que parecen a duras penas aplicables a la mezcla de fluidos, superposición de campos y otros procesos de interpenetración. Por consiguiente no pueden utilizarse en la reconstrucción axiomática de teorías científicas en las que interviene el concepto de superposición. Nos quedan, pues, las interpretaciones propuestas del álgebra de Boole y de la teoría de anillos. De éstas la última me parece preferible en el momento presente, aunque sólo sea porque no requiere que la superposición sea conmutativa. (Si asumimos $\times$ como conmutativa, entonces el conjunto S de todas las cosas es un anillo conmutativo.) Esto es ventajoso, porque algunos procesos de interpenetración pueden no ser conmutativos. (Recuérdese la anécdota que cuenta Fischer de la señora que afirmaba que el te con leche no sabía igual que la leche con te). Y necesitamos que nuestra teoría de montajes sea fiel al mundo real, por lo tanto sensible a los ejemplos y contraejemplos sacados de la ciencia. Por esta razón, en contra de la opinión de Scholz,[6] la metafísica no conseguirá una certeza definitiva y libre de controversia cuando salga de la edad matemática y científica. Lo que puede esperarse es que en la metafísica las discusiones dejen de ser erráticas, ideológicas y estériles porque los desiderata, los supuestos y los procedimientos se hagan explícitos y bajo el doble control de las matemáticas y de la ciencia. El emparedado entre estas dos enriquecería y disciplinaría a la metafísica con tal de que las tapas del emparedado no cesen de crecer.

[6] H. Scholz, *Metaphysik als Strenge Wissenschaft* (Darmstad: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1965), p. 139.

IV. Metafísica sacada de la ciencia: teoría del análisis y la síntesis

Puede tomarse la química, ciencia por excelencia del análisis y la síntesis, como fuente de inspiración para construir una teoría general del análisis y la síntesis de los individuos de cualquier clase. Esta teoría debe ir más allá de la teoría de ensamblajes (sección III) en el sentido de que debería indicar explícitamente los cambios cualitativos que acompaña a la asociación y disociación de individuos. En otras palabras, la nuestra debería ser una teoría de las transformaciones de clases naturales o especies. Más aún, debería contener una generalización de la hipótesis químico-atómica según la cual en el análisis y la síntesis sólo están implicados números enteros. La teoría que se esboza a continuación reúne estos requisitos.

El punto de partida intuitivo es el siguiente: sean A, B y C clases naturales: especies de partículas elementales, elementos químicos, especies moleculares, células germinales, células corporales o lo que sea. Considérense los siguientes procesos simbolizados por la notación química estándar:

(1a) *Síntesis o combinación:* $mA + nB \rightharpoonup pC$
(2a) *Análisis o disociación:* $mA \rightharpoonup nB + pC$

donde la semiflecha simboliza el proceso de transformación y m, n y p son enteros positivos. Nuestra tarea consiste en dilucidar y sistematizar estas ideas sin restringirlas a la química ni, desde luego, a los cambios reales de los tipos síntesis o análisis. No es solamente cuestión de saltar de la química a la metafísica: primero tenemos que mejorar la notación química; luego sacar a luz el álgebra de las reacciones químicas. Los fundamentos de la química realizan estas dos tareas.[7] La necesidad de la primera tarea es total-

[7] R. Aris, "Prolegomena to the Rational Analysis of Systems of Chemical Reactions", *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, XIX (1965): 81 y "Some Addenda", ibd. XXVII (1968): 356.

mente obvia, aunque sólo sea porque el signo '+' en las fórmulas anteriores es ambiguo. En efecto, mientras que en (1a) representa la combinación, en (1b) representa la yuxtaposición. La ambigüedad desaparece si volvemos a escribir los esquemas anteriores como

(2a) $mA + nB - pC = \emptyset$ *(Síntesis)*
(2b) $mA - nB - pC = \emptyset$ *(Análisis)*

donde $\emptyset$ designa la clase natural nula. Ahora a las entradas [inputs] se les asignan coeficientes positivos y a las salidas [outputs] coeficientes negativos. Y toda reacción de uno u otro tipo se transcribe como una combinación lineal con coeficientes enteros de las clases naturales comprendidas en ella. Además se ve que los únicos conceptos primitivos que se necesitan son los de clase natural, clase natural nula y combinación. Los siguientes axiomas especifican e interrelacionan estos conceptos.

AXIOMA 1. Todo K_i, donde i es un entero positivo, es un conjunto y representa una posible clase natural.

AXIOMA 2. Hay un número finito de clases naturales posibles. Llamémosle T.

AXIOMA 3. (a) La estructura $K = \langle K, +, \emptyset \rangle$, en donde $K = \{ K_i \mid 1 \leq i \leq T \}$ es un monoide commutativo.

(b) Si K_i, K_j, K_n están en K, entonces $\ulcorner K_i + K_j = K_n \urcorner$ representa una combinación posible de un individuo de la clase K_i con otro individuo de la clase K_j para formar un miembro de la clase K_n.

AXIOMA 4. La *i*ésima reacción posible R_i en el conjunto $\{K_j\} \subseteq K$, con $1 \leq j \leq T$, está representada por la ecuación

$$\Sigma_j \; \alpha_i^j \; K_j = \emptyset \quad \text{en donde} \quad \alpha_i^j \in Z = \{0, \pm 1, \ldots\}$$

Antes de escribir nuestro quinto y último axioma necesitamos algunas definiciones. Al establecerlas prescindiremos de detalles.

Def. 1. Si n es un entero positivo y K_i una clase natural, entonces 'nK_i' es una abrieviatura de '$K_i + K_i + \ldots + K_i$' (n sumandos) y representa la síntesis de n individuos de la especie K_i.

Df. 2. La reacción que resulta de invertir el signo de la matriz de cambio α de cualquier reacción dada R_i, se llama *reacción inversa* $-R_i$.

Def. 3. En cualquier reacción las clases naturales con coeficientes enteros positivos se llaman *reaccionantes* y las que tienen coeficientes negativos *productos*.

Def. 4. Sea R_i una reacción que comprende al menos dos clases naturales. Entonces llamamos a R_i *síntesis (análisis)* si tiene un único producto (reaccionante).

Def. 5. Sea R_L un conjunto de reacciones. Entonces llamamos *especie atómica de nivel L* a cualquier clase natural que aparezca como reaccionante, pero no como producto en R_L. A cualquier otra especie la llamamos *especie molecular de nivel L + i.*

Ahora estamos preparados para formular nuestro último supuesto básico:

Axioma 5. Sean R_i y R_j dos reacciones sobre un conjunto M_k de clases naturales moleculares. Entonces el resultado $R_i + R_j$ de dos reacciones se representará por

$$\Sigma_k\, (\alpha_i^k + \alpha_j^k)\, M_k = \emptyset$$

Y nuestra última convención:

Def. 6. Un conjunto de reacciones se llama *interactivo* o *dependiente* (alternativamente *sumativo* o *independiente*) si cualquiera de ellas puede (o no puede) ser descompuesta en una combinación lineal de todos los demás cambios.

Los axiomas y definiciones precedentes permiten dar pruebas rigurosas de una serie de teoremas concernientes a la estructura del cambio. Entre ellos los siguientes:

TEOREMA 1. Sea R el conjunto de todas las reacciones (análisis o síntesis). Entnoces la estructura R $= \langle R, +, -, \emptyset \rangle$ es un grupo commutativo.

TEOREMA 2. Sea R_D el subconjunto de R, que consta de todos los cambios dependientes (interpretativos) de tipo analítico o sinttéico. Entonces la estructura $R_D = \langle R_D, Z, +, \cdot, \emptyset \rangle$ es un módulo sobre el anillo Z de los enteros.

En lenguaje corriente: la composición de dos reacciones es una tercera reacción, toda síntesis está emparejada con un análisis y los cambios interactivos pueden multiplicarse por números para seguir produciendo más reacciones. Resultados como estos pueden multiplicarse *ad libitum* con la ayuda de las teorías de monoides, grupos y módulos. Podemos también comparar conjuntos de cambios, por ejemplo, estudiar los morfismos de análisis y síntesis en diferentes niveles. La secuencia de teoremas no tiene fin: al volverse matemática, la metafísica no sólo se hace exacta, sino también infinita.

V. METAFÍSICA SACADA DE LA TECNOLOGÍA: TEORÍA DE AUTÓMATAS

La teoría de autómatas ha estado algún tiempo con nosotros esperando que los metafísicos se ocuparan de ella: ilustra la primera de las estrategias para la construcción de teorías relacionadas en la sección II, o sea la estrategia del robo. Es un campo nuevo y rico, originalmente concebido como base teórica para la ciencia de computadores. Pero, dado que ha sido desarrollada principalmente por matemáticos apenas interesados en *hardware*, ha resultado ser tan sumamente general como para cubrir toda clase de sistemas, independientemente de su naturaleza.

Un autómata, tal como es idealizado por la teoría de autómatas,[8] es un sistema susceptible a estímulos de una

[8] Ver, por ejemplo, M. A. Arbib, "Automata Theory", en R. E. Kalman, P. L. Falb y M. A. Arbib, *Topics in Mathematical System Theory*, (Reading Mass.: Addison-Wesley, 1962); A. Ginsburg,

clase dada. Pasa de un estado interno a otro, como respuesta a esas entradas [inputs] y puede producir salidas [otputs] que dependen no sólo de las entradas [inputs], sino también de los estados internos. La teoría de autómatas tiene en cuenta tanto la estructura general como el comportamiento de un sistema, pero pasa por alto la naturaleza y la disposición espacio temporal de sus componentes: es una teoría inmaterial, atópica, acrónica y cajanegrista. Por lo tanto es aplicable a cualquier clase de sistemas, situados en cualquier medio y que satisfagan cualquier ley compatible con las bastante suaves restricciones que impone la definición de un autómata. En particular, la teoría de autómatas es aplicable a agregados de neuronas y a sociedades, no sólo a artefactos.

En otras palabras, el referente de la teoría de autómatas es un compuesto sistema-medio de cualquier naturaleza (mecánica, eléctrica, química, biológica, de comportamiento) y sometido a las siguientes limitaciones: Primera, un autómata admite entradas de una clase determinada, por ejemplo, tarjetas perforadas, y sus salidas son igualmente de una clase determinada. por ejemplos, símbolos impresos. El más simple autómata puede escribir solamente lo que puede "leer", por ejemplo, hileras de ceros y unos. Segunda, un autómata (finito) puede estar en uno u otro de un número finito de estados. Tercera, un autómata puede pasar solamente por ciertas secuencias de estados, y esto lo hace de una manera discontinua: es un sistema discreto y secuencial.

La teoría de autómatas es de interés para la metafísica, más aún, es parte integrante de la metafísica científica, precisamente porque (a), proporciona un modelo conceptual aproximado de una cosa que interacciona con su entorno, al margen de toda característica específica, de interés para las ciencias particulares, y (b), es inmaterial, atópica y acrónica, de aquí que sea independiente de todo enunciado legal, aun teniendo que ver con algunas características de entidades

Algebraic Theory of Automata (New York: Academic Press, 1968); o M. A. Harrison, *Introduction to Switching and Automata Theory* (New York: McGraw-Hill, 1965).

concretas. Para persuadirnos nosotros mismos de que éste es el caso, continuamos exponiendo nuestra propia versión de los fundamentos axiomáticos de la teoría de los autómatas deterministas. La única diferencia respecto a las exposiciones normales se encontrará en el estilo de la axiomatización, que pretende mostrar, no sólo la forma, sino también el contenido de los conceptos básicos. (Esta clase de axiomática ha sido caracterizada en otro lugar).[9]

Los conceptos específicos primitivos o definidores de la teoría están relacionados en la siguiente tabla.

Símbolo	*Naturaleza matemática*	*Contenido factual*
Σ	Conjunto	Colección de distintas unidades de entrada (inputs).
Ω	Conjunto	Colección de distintas unidades de salida (outputs).
Λ	Individuo	Entrada nula.
o	Operación binaria	Concatenación de entradas o salidas.
S	Conjunto	Espacio de estados.
M	Función	Función de transición (próximo estado).
N	Función	Función de salida.
s_0	Individuo	Estado final.
F	Conjunto	Colección de estados finales.

El concepto de autómata está caracterizado por la siguiente axiomática:

DEFINICIÓN. Se dice que la estructura $\alpha = <\Sigma, \Omega, \Lambda, \mathrm{o}, S, M, N, s_0, F>$ representa un *autómata determinista finito* (= máquina secuencias con salida), *A* si, y sólo si,

Ala. $\Sigma = \{\sigma_0, \sigma_1 \ldots, \sigma_{k\text{-}1}\}$, llamado *alfabeto de entrada*, es un conjunto no vacío con *k* elementos llamados *letras*.

[9] Ver mi "Physical Axiomatics", *Reviews of Modern Physics*, (1967): 463, y "The Structure and Content of a Physical Theory", en Bunge ed., *Delaware Seminar in the Foundations of Physics* (New York, Springer Verlag, 1967).

Alb. Todo $\sigma_i \in \Sigma$, para $i = 0, 1, \ldots, k\text{-}1$, representa una unidad de entrada en A desde su medio.

A2a Ω, llamado *alfabeto de salida,* es un conjunto con dos elementos: 0 y 1.

A2b. $0 \in \Omega$ representa la ausencia de una salida de A; representa la reacción de A hacia su medio.

A3a. Sea Σ^* el conjunto de concatenaciones finitas de elementos de Σ, y sea $\in \Sigma^*$ tal que, para todo $x \in \Sigma^*$, $\Lambda\, x = x\, \Lambda = x$. Igualmente sea Ω^* el conjunto de las concatenaciones finitas de elementos de Ω con $0 \in \Omega^*$ y tal que, para todo $y \in \Omega^*$, $0\, y = y\, 0 = y$. Entonces las estructuras $<\Sigma^*, \Lambda, o>$ y $<\Omega^*, 0, o>$ son monoides.

A3b. o representa la combinación o concatenación de entradas o salidas sucesivas de A.

a4a. S, llamado el *espacio de estados* de A, es un conjunto no vacío con n elementos.

A4b. Todo $s_i \in S$, para $i = 0, 1, \ldots, n\text{-}1$, representa un estado interno de A.

A5a. M, llamada función de *transición* (o de *próximo estado*), es una función del producto cartesiano $S \times \Sigma^*$ en S.

A5b. Si $s \in S$ representa un estado de A y $x \in \Sigma^*$ representa una entrada (palabra) en A, entonces $M(s, x)$ S representa el estado en que entra A cuando x es aplicada a A en el estado s.

A6a. N, llamada *función de salida,* es una función de $S \times \Sigma^*$ en Ω^*, tal que $N(f,x) = 1 \in \Omega^*$ para todo $f \in F \equiv S$ y para todo $x \in \Sigma^*$.

A7a. s_0 está en S.

A7b. s_0 representa el estado interno inicial de A.

A8a. F es un conjunto no vacío incluido en el espacio de estados S.

A8b. Todo miembro f de F representa un estado final de A.

A9. A no hace transiciones espontáneas, es decir, la entrada nula no tiene efecto: para todo s en S, $M(s, \Lambda) = s$.

A10. Los estados internos forman secuencias; es decir, el efecto de una entrada compuesta x o y formada a partir de x, y $\in \Sigma^*$, es igual al efecto de la segunda entrada actuando sobre el autómata en el estado al que le condujo la primera entrada:

$$M(s, x \circ y) = M(M(s, x), y)$$

Los axiomas precedentes son necesarios y suficientes para caracterizar un autómata determinista con un número finito de estados. Sin embargo no determinan con precisión las propiedades centrales de A, es decir, la función de transición M y la función de salida N. Así 46a es una función disfrazada de estado final, porque equivale a decir que un estado final es cualquier estado que, actuado por una entrada arbitraria, da lugar a una salida. Por lo que se refiere a A9 y a A10, éstos sólo restringen las posibles funciones M de transición a aquellos sistemas característicos que operan (a), por compulsión externa; (b), en serie (secuencialmente); (c), de modo determinado (no probabilístico). Aunque los dos últimos axiomas caracterizan así el tipo de función de transición, no especifican la función con exactitud —ni se espera que lo hagan, puesto que tienen que ser suficientemente elásticos para acomodarse a todas las clases de sistemas finitos, secuenciales y deterministas. En otras palabras, A9 y A10 no son enunciados de leyes, sino más bien condiciones (entre otras) que un sistema debe satisfacer para ser *calificado* como, o para merecer que se le *llame,* autómata finito determinista o, mejor aún, sistema secuencial causal. Corresponde al teórico de autómatas aplicados (sea éste un ingeniero, un psicólogo o un lingüista) la manipulación de los componentes reales (y de las leyes inherentes a ellos) de forma que un sistema llegue a satisfacer las condiciones que definen a un autómata. Si un sistema real, bien sea natural o artificial, físico o social, no satisface cualquiera de los diez axiomas anteriores, no será tenido como un falsador de la teoría de autómatas. En otras palabras, es imposible refutar la teoría de autómatas. Por otra parte es posible confirmarla o ilustrarla exhibiendo sistemas que se comporten como autómatas en algunos aspectos. ¿Podría imaginarse algo más metafísico?

VI. Observaciones finales

Las teorías de la metafísica científica, precisamente igual que las teorías científicas, plantean tres tipos conjuntos de problemas técnicos: cuestiones concernientes a la forma, al contenido y a la evidencia. Más explícitamente, debemos ocuparnos de las siguientes cuestiones:

(i) *Forma.* Puesto que la metafísica científica es exacta, una teoría de metafísica científica debe tener una estructura matemática definida. Sin embargo no es necesario que sea cuantitativa: por lo general son suficientes la lógica y el álgebra. Incluso si en la metafísica científica están implicadas funciones numéricas (como será el caso con una teoría del espacio / tiempo utilizable en la fundamentación axiomática de una teoría científica), ni se necesitan ni se darán de hecho leyes o normas para calcular valores especiales de tales funciones. Porque, si se dieran, entonces la metafísica podría calcular predicciones definidas y competir, por consiguiente, con la ciencia. Y la metafísica, lejos de competir con la ciencia, debe cooperar con ella.

(ii) *Contenido.* La metafísica científica, lo mismo que la ciencia factual, se refiere al mundo real más bien que a todos los mundos lógicamente posibles. Además una teoría de metafísica científica puede referirse o bien a una característica general del mundo, como el cambio, o bien a una característica peculiar de un fragmento de él, como la actividad mental. Con más precisión, la metafísica científica consta de dos conjuntos de teorías: (a) teorías *universales* o de internivel, y (b), teorías *regionales* limitadas a algunos niveles de integración. Sin embargo, ni siquiera la teoría más especial de metafísica regional será jamás suficientemente específica para poder dar cuenta de los detalles de un individuo particular. Si lo fuera, entonces se habría ganado una teoría más para la ciencia. En todo caso, una teoría de la metafísica científica, ya sea universal o regional debería incluir normas de designación que estipulen lo que denotan sus signos, así como supuestos semánticos que enlacen sus conceptos básicos con rasgos definidos de los referentes de la teoría.

(iii) *Evidencia.* Puesto que las teorías de metafísica científica no son específicas o definidas, no pueden ser comprobadas a través de la predicción. En otras palabras, no son comprobables empíricamente. (A este respecto no están en peor condición que las teorías científicas más generales antes de que se les hayan añadido supuestos específicos y datos). Pero deberán ser puestas a prueba si no se reducen a ser meros dogmas. La evidencia para una teoría de metafísica científica consiste en juicios sobre su capacidad para (a), estar de acuerdo con la ciencia; (b), dilucidar y sistematizar conceptos y principios filosóficos, y (c), servir a la ciencia puliendo alguno de sus conceptos metafísicos (por ejemplo, los de acontecimiento y casualidad) y de sus hipótesis metafísicas (por ejemplo, la de la existencia de leyes y la del enraizamiento de los más altos niveles de integración en los más bajos). En otras palabras, la prueba de la metafísica científica es la ciencia.

Este último punto merece un comentario. La articulación de la ciencia con la metafísica no es rígida: la misma teoría científica puede ser consistente con teorías metafísicas alternativas. Así hemos visto en la sección III que son posibles diferentes teorías de montajes y que la elección entre ellas no es en modo alguno evidente. Otro ejemplo: la mecánica clásica no está de ninguna manera casada con una teoría absoluta del espacio y el tiempo, sino que puede ser construida sobre la base de una teoría relacional. Por consiguiente, una victoria científica no implica el triunfo de una determinada teoría metafísica en armonía con ella: más bien apoya toda una clase de teorías metafísicas. Las mejores de éstas serán las que se ajusten más a la ciencia y proporcionen dilucidaciones más exactas y cogentes de las referidas ideas metafísicas.

En conclusión, hemos mostrado tres teorías, o más bien sus fundamentos axiomáticos, que satisfacen las condiciones que definen a la metafísica científica. Hemos probado, por consiguiente, que la metafísica científica es, no sólo posible, sino real. Está especialmente viva en las escuelas de ingenieros, aunque es dudoso que los ingenieros se sientan halagados con esta asociación. Tampoco el científico está dispuesto a sentirse feliz si se le dice que toda teoría científica necesita una metafísica para ocuparse de sus conceptos y principios metafísicos genéricos. Puede muy bien responder que él puede pasarse sin tal ayuda y cuidarse por sí mismo de aquellos detalles: por ejemplo, si llega el caso, el científico puede construir teorías matemáticas que diluciden y sistematicen los conceptos genéricos de sistema o de medio. En efecto, puede hacerlo: puede volverse metafísico.[10]

McGill University

[10] Para una discusión detallada de la continuidad entre la ciencia y la metafísica (es decir, la falta de una clara línea de demarcación entre ambas), véase mi próximo "Testability Today". (Publicado en M. Bunge, *Method, Model and Matter*, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1973, págs. 27-43, N. T.)