Levis Ignacio Zerpa Morloy

SOBRE EL SIGNIFICADO Y USO DEL CONCEPTO DE MODELO EN LA TEORIA ORGANIZACIONAL DE STAFFORD BEER

Uno de los tópicos más estudiados en la lógica pura y aplicada y en la filosofía de la ciencia en este siglo es, indudablemente, el relativo a los conceptos de *modelo* que se definen y emplean en las diversas disciplinas científicas. Si bien podemos afirmar que la definición más rigurosa de 'modelo' pertenece a una rama de la lógica matemática, a saber, la teoría de modelos[1], se discute con frecuencia acerca de si esa misma definición es la adecuada en la ciencia natural, las ciencias sociales y la tecnología —no sólo en la matemática pura—. Nuestro objetivo en este trabajo es examinar el concepto de 'modelo' que define y emplea S. Beer en *Decision and Control* (=*D&C*)[2] a la luz de la teoría de modelos y de una de las tendencias más fructíferas de la filosofía de la ciencia contemporánea: la concepción no-enunciativa o estructuralista de las teorías científicas[3]. Como veremos, este problema afecta los fundamentos de la concepción de la investigación de operaciones (=IO) que presenta Beer tanto en *D&C* como en el resto de su obra.

El problema fundamental para buena parte de la metodología formal de la ciencia ha sido planteado con bastante lucidez y concisión por el lógico y filósofo de la ciencia polaco R. Wójcicki: «*Is it possible to examine the relationships holding between an empirical theory θ and the*

---

[1] Cfr. e.g. M. Manzano: *Teoría de Modelos*, Alianza, Madrid, 1989.

[2] Wiley & Sons, 8º reimpresión de la 1º edición, Chichester-Nueva York, 1988.

[3] Cfr. U. Moulines: *Exploraciones Metacientíficas. Estructura, desarrollo y contenido de la ciencia*, Alianza, Madrid, 1982 y W. Balzer, U. Moulines y J. D. Sneed: *An Architectonic for Science. The Structuralist Program*, Reidel, Dordrecht-Boston, 1987. También véase J. Nikolić: "Acerca del enunciado de Ramsey-Sneed" en *Episteme NS*, vol. 7 (1987), Nos. 1-3, pp. 93-109.

phenomena to which θ is supossed to be applicable by means of substantially the same tools which are used within logical semantics, and how eventually can this be done?»[4]. En caso afirmativo, el concepto lógico de modelo es imprescindible. Tanto para aquellos autores que lo conciben como el concepto fundamental al cual pueden reducirse o parafrasearse los restantes conceptos de modelo empleados en ciencia empírica y tecnología[5], como para los autores que establecen diferencias insalvables entre ambos[6], su papel es claramente fundamental en la metodología científica. De allí que no es extraño que Beer lo analice con cierto detalle en *D&C* y lo use profusamente a lo largo de toda su obra. Pero antes de examinar su tratamiento del concepto en *D&C*, revisaremos en forma muy breve y escueta la definición *standard* de 'modelo' para un lenguaje de 1º orden.

En primer lugar, recordemos el concepto de **sistema** tal como se lo entiende en álgebra universal y teoría de modelos. Supongamos, para simplificar, que nuestro alfabeto sólo contiene los símbolos lógicos $\neg$, $\wedge$, $\forall$, $\exists$, $=$, las variables individuales x, y, ..., los functores $\mu(i)$-arios f_1, f_2, ..., ordenados según $<f_i>_{i \in I}$ y los relatores $\delta(j)$-arios R_1, R_2, ..., ordenados según $<R_j>_{j \in J}$, donde las funciones $\mu: I \rightarrow N$ y $\delta: J \rightarrow N - 0$ fijan el tipo $<\mu, \delta>$ del sistema (ejemplo: si $+_R$ es la i-ésima función binaria del sistema R, entonces $\mu(i) = 2$). De este modo, un sistema $A = <\mathbf{A}, <f_i>_{i \in I}, <R_j>_{j \in J}>$ tal como un grupo $<G, e, +_G>$ o un cuerpo $<G, e, u, +_G, \cdot_G>$ (donde 'u' es el elemento unidad del cuerpo y 'e' es el elemento neutro en ambos) es un **modelo de un conjunto C de fórmulas o satisface (sat) C** si y sólo si (=sii) existe una función de asignación I que le asocia a cada variable del lenguaje un individuo del

[4] Towards a General Semantics of Empirical Theories» en R. E. Butts y J. Hintikka (Eds.): *Basic Problems in Methodology and Linguistics* (Part III of the Proceedings of the 5TH International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, London-Ontario, 1975), D. Reidel, Dordrecht-Boston, 1977, p. 31.

[5] P. Suppes: «A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences» en *Synthese*, vol. 12 (1960), pp. 287-301, B. van Frassen en diversas obras y W. Balzer *et al.*: *op. cit.*, cap. 1.

[6] Bunge: *Teoría y Realidad*, Ariel, Barcelona 1975.

universo del sistema (por ejemplo, un número real si se trata de $<\mathbb{R}, 0, ->$ o un punto de una recta si se trata del grupo de las traslaciones u otro grupo geométrico análogo) y se cumple que para cada par de fórmulas α y β de C:

$$AI(x) = I(x)$$
$$AI(f_i t_1 ... t_{\mu(i)}) = \mathbf{f}_i(AI(t_1), ..., AI(t_{\mu(i)}))$$
$$AI \text{ sat } R_j t_1 ... t_{\delta(j)} \text{ sii } <AI(t_1), ..., AI(t_{\delta(j)})> \in \mathbf{R}_j.$$
$$AI \text{ sat } t_1 = t_2 \text{ sii } AI(t_1) = AI(t_2)$$
$$AI \text{ sat } \neg\alpha \text{ sii no } AI \text{ sat } \alpha$$
$$AI \text{ sat } \alpha\wedge\beta \text{ sii } AI \text{ sat } \alpha \text{ y } AI \text{ sat } \beta$$
$$AI \text{ sat } \forall x\alpha \text{ sii para cada } \mathbf{x}\in\mathbf{A}\text{: } AI^{\mathbf{x}}_{x} \text{ sat } \alpha$$
$$AI \text{ sat } \exists x\alpha \text{ sii para algún } \mathbf{x}\in\mathbf{A}\text{: } AI^{\mathbf{x}}_{x} \text{ sat } \alpha,$$

siendo $I^{\mathbf{x}}_{x}$ una función que coincide con I en todo excepto posiblemente en el valor de la variable x[7].

Uno de los aspectos obvios y claves de la definición anterior es que la función de satisfacción sat es **completamente exacta**: en ella no se contempla que *AI* satisfaga «aproximadamente» o «con un grado de error aceptable» a C, mientras que esta noción aproximativa es ciertamente necesaria en ciencia empírica. Por otra parte, en la definición anterior no aparecen los elementos cognoscitivos y ontológicos que, en cambio, sí son fundamentales en el concepto usado en ciencia empírica y tecnología: *«Un modelo es...una representación que idealiza, simplifica y abstrae selectivamente la realidad....»* [Ejemplos: el ***modelo*** *de programación lineal* o el ***modelo*** *de líneas de espera*]»[8]. *«El* ***ingeniero*** *considera que ha modelado un sistema cuando ha conseguido construir un aparato cuyo comportamiento es similar al del sistema original. Por otra parte, para el* ***matemático****, modelar un sistema significa 'plasmar' algunas de las propiedades en definiciones y axiomas matemáticos de forma que pueda deducir otras propiedades de este* ***modelo*** *'formal' (es decir, matemático),* ***explicando*** *así propiedades conocidas del sistema original*

---

7 La definición rigurosa puede encontrarse en cualquier texto de teoría de modelos, vg. Manzano, *op. cit.*, cap. 2.

8 G. D. Eppen y F. J. Gould: *Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa*, Prentice-Hall Hispanoamericana, México-Englewood Cliffs, 1987, p. 9.

y **prediciendo** *otras nuevas. El concepto de 'red modular' tiene una definición matemática precisa (...) y es en este sentido matemático en el que lo consideramos como un modelo del cerebro.»*[9] En este contexto Beer nos brinda la siguiente definición: *«Let us call [a] mental representation of the world that is not direct perception of the world a* ***model*** *of the world. ...a mathematical model is an algebraic statement of the representation already discussed»* (*D&C*, pp. 100-102). ¿Son insalvables las divergencias que existen entre ambos conceptos de modelo? ¿Cuáles son las consecuencias que la respuesta a esta pregunta implican para la concepción de la IO que propone Beer?.

Nótese, ante todo, que los ejemplos dados en *D&C* y aún el propio **«modelo» del sistema viable** (MSV; *Viable System Model*) como una aplicación del enfoque cibernético en gerencia, son herramientas conceptuales que pueden ser mejor o peor confirmadas al ser **contrastadas** con el fenómeno que pretenden describir y/o explicar (en este caso, la estructura de una empresa como INDULAC o General Motors). Si reconstruimos lo esencial del MSV como un sistema en el sentido arriba definido, si precisamos una función de asignación adecuada, y si formulamos el mayor y más exacto número posible de «enunciados básicos» o «sentencias observacionales» sobre la empresa en cuestión, veremos que el MSV no satisface en forma completa y definitiva a ese conjunto de sentencias —ni a ninguno de sus subconjuntos. Pero esto no revela un falla intrínseca al MSV: por ejemplo, **ningún** sistema que se basa en la ecuación de estado de van der Waals o en alguna forma (truncada) de la ecuación del virial, satisface completamente el conjunto de fórmulas que pueden obtenerse en laboratorio sobre el comportamiento de los gases. Idéntica situación se presenta en la ciencia empírica en general y en la tecnología: los modelos sólo se **adecúan parcialmente** al fenómeno que pretenden describir y/o explicar. Sin embargo, la definición recursiva de la función sat es exhaustiva: no contempla sistemas que «sólo satisfagan parcialmente» y «con cierto margen de error» a un conjunto dado de fórmulas. Por tanto, **o bien** hay que completar ese concepto lógico de modelo con recursos

---

[9] M. A. Arbib: *Cerebros, Máquinas y Matemáticas*, Alianza, Madrid, 1976, p. 22.

adicionales para que sea de utilidad en la ciencia empírica y la tecnología o hay que construir un concepto alternativo que sea fructífero en estos campos.

El segundo miembro del dilema anterior ha sido defendido con vigor por Bunge: *«...todo modelo contrastado es, en el mejor de los casos, parcialmente verdadero en el sentido que, con suerte, algunas consecuencias contrastables resultan ser aproximadamente verdaderas. Así pues, ningún modelo teorético es, hablando estrictamente, un modelo en el sentido semántico* [i.e. en el sentido definido anteriormente], *pues esto requiere la satisfacción exacta de todas las fórmulas de la teoría»*[10]. Pensamos que si bien esta objeción tuvo mucha fuerza durante los años 60' y parte de los 70', a partir de la introducción formal de la noción de **aproximación** en las teorías físicas definida mediante recursos de la topología conjuntista por G. Ludwig en 1970, aplicada por Scheibe al caso Kepler-Newton y desarrollada en el marco de la concepción estructuralista de las teorías por U. Moulines y otros autores, se ha dado una respuesta pertinente, interesante y precisa a esta objeción. Examinemos este asunto con más detenimiento.

Respecto a la concepción no-enunciativa o estructuralista de las teorías[11], nos conformaremos provisionalmente con caracterizar una teoría científica T como una entidad conjuntista $T = \langle K, I \rangle$ donde K es la **estructura matemática** de T constituida por un conjunto de modelos en el sentido definido e I es un conjunto de **aplicaciones propuestas** de T. Por ejemplo, la estructura matemática de la termodinámica clásica, K_{TC}, se aplica a un conjunto de fluidos homogéneos, entre los cuales cabe citar aquellos cuyo comportamiento «no se aparta demasiado» de la descripción brindada por las ecuaciones de estado mencionadas (conjunto de aplicaciones de la termodinámica clásica o I_{TC}). Y al ser contrastada en laboratorio la K_{TC}, es claro que ningún gas satisface «exacta y completamente» a esas ecuaciones de estado: sólo las satisfacen en forma **«aceptablemente» aproximada**. Este es el sentido del término 'aproximación' que se ha definido en forma precisa por los autores

---

10 *Op. cit.*, p. 49.

11 Véase la nota 3.

mencionados empleando el concepto topológico de **uniformidad**, el cual añade condiciones restrictivas al concepto de filtro[12]. Sólo que en lugar de aproximar conjuntos de números reales, podemos tomar conjuntos de modelos como puntos del espacio topológico.

Sin entrar en los detalles técnicos de la definición de uniformidad entre modelos, podemos esbozar la idea intuitiva que subyace de la manera siguiente. Dado un conjunto K de modelos «potenciales» de una teoría T, una uniformidad en K determina una clase de subconjuntos K^1, K^2, ..., cada uno de los cuales representa un cierto «grado o medida de aproximación». En el caso particular de los números reales, en el que tenemos una métrica *standard*, podemos definir la uniformidad *standard* en un par $<a, b> \in K^1$ para un ε particular así:

$$K^1_\varepsilon = \{<a, b> / |a - b| < \varepsilon\}.$$

Luego, si mediante esa definición formal hacemos frente a la más fuerte objeción formulada contra el empleo del concepto lógico (o semántico) de modelo en ciencia empírica y tecnología, entonces no es muy convincente sustituir algo metafórico y poco preciso (*pace* Bunge) por algo que conocemos y hemos definido en forma precisa. De este modo, podemos considerar que un modelo en el sentido de *D&C* es una representación mental de un fenómeno cuya formulación viene dada por la definición mencionada. Más aún: si en el MSV se hace abundante uso de la noción de «nivel **recursivo**», entonces la definición perfectamente recursiva de la función sat dada es oportuna. Por otra parte, esto permitiría la reconstrucción de la estructura lógica del MSV en términos de la teoría informal de modelos, lo cual nos permite contrastar con más propiedad su solidez a nivel de fundamentos y su aplicabilidad.

Otra de las ventajas que reporta esta propuesta es que ahora pueden definirse en ciertos casos homomorfismos e isomorfismos entre estructuras conocidas. Específicamente, cuando Beer —*D&C*, p. 114— postula el isomorfismo entre la formulación rigurosa del «*conceptual*

---

[12] Un subconjunto **F** de un álgebra booleana $\mathcal{B} = <B, 1, 0, *, \wedge, \vee>$, $F \subseteq B$, es un **filtro** si y sólo si i) $F \neq \emptyset$; ii) $\forall x, y \in F (x \wedge y \in F)$ y iii) $\forall x \in F\ \forall y \in B (x \vee y \in F)$. Vid. Moulines, *op. cit.*, 174 y ss.

model» correspondiente a la situación o fenómeno organizacional (*managerial situation*) y la formulación rigurosa del *«conceptual model»* correspondiente a la situación o fenómeno científico (*scientific situation*), puede indicarse ahora el **tipo de entidades** a las cuales se refiere.

Más específicamente: si se trata de un fenómeno que a nivel de la «representación mental» o *«conceptual model»* podemos caracterizar como muy **complejo**, entonces en el **sistema** correspondiente a ese fenómeno científicamente considerado —vg. empleando recursos de la cibernética—, aparecerá la función monaria de **variedad** (*variety: «...a **measure** of the complexity with which management has to deal»*[13]) $\mathbf{v}_c$:S→N cuya forma está dada —según la versión de *Platform for Change*, p. 33—, por la expresión

$$\mathbf{v}_c(\mathbf{s}) = 2^{s(s-1)},$$

donde s∈S⊂N es el número de elementos del sistema (ejemplo: para una comunidad de 4 personas tenemos $2^{4(4-1)} = 4.096$ estados de cosas, los cuales pueden consistir, dependiendo del caso, en igual número de posibles **relaciones** de cierto tipo entre los miembros de esa comunidad), la cual también aparecerá en el **sistema** correspondiente al fenómeno explicado en términos gerenciales, en cuyo caso la denominamos por $\mathbf{v}_g$. Existe, entonces, una función **h** cuyo dominio es el universo de uno de esos sistemas y cuyo recorrido es el dominio del otro sistema tal que **h** es biyectiva y para cada s perteneciente al dominio del primer sistema, se cumple que $\mathbf{h}(\mathbf{v}_c(\mathbf{s})) = \mathbf{v}_g(\mathbf{h}(\mathbf{s}))$. Por otra parte, nótese que si, efectivamente, el manejo de la complejidad es uno de los retos decisivos a los que se enfrenta el hombre contemporáneo y su elucidación es una de las tareas fundamentales de la IO, entonces la **metrización** y **medición** de la función de variedad en casos concretos tiene la máxima importancia en la IO.

Lo anterior sólo precisa una parte del esquema cognoscitivo de Beer pues el homomorfismo que él establece entre la vaga

---

[13] Beer: *Diagnosing the System for Organizations*, Wilwy & Sons, Chichester-Nueva York, 1985, p. 21. "*In the eyes of cybernetics, the whole business of human freedom may be seen as a constantly adjusting balance between the two methods: variety generation for the controller, and variety inhibition in the controlled.*" Beer: *Platform for Change*, Wiley & Sons, Chichester-Nueva York, 1978, p. 34.

representación mental o modelo conceptual y su formulación precisa no puede establecerse con toda exactitud, pues consiste en establecer una relación entre un sistema con estructura **conocida** y una representación que no se conoce con exactitud. Estamos frente a una situación análoga a la de la famosa **Tesis de Church**: *La clase de las funciones parciales computables mediante un algoritmo es idéntica a la clase de las funciones recursivas parciales.*

En efecto, mientras puede demostrarse que las diversas **caracterizaciones precisas** de las funciones (parciales) computables mediante un algoritmo (vg. mediante máquinas de Turing o sistemas de Thue) dan como resultado el mismo conjunto de funciones, a saber, el conjunto de las funciones recursivas parciales, **no** puede demostrarse que nuestra **idea intuitiva** de las funciones (parciales) computables mediante un algoritmo da como resultado ese mismo conjunto, pues se trata de la relación entre una entidad caracterizada en forma precisa y otra caracterizada sólo en forma intuitiva[14].

La analogía con el esquema de Beer se comprende aún mejor si se toma en cuenta la siguiente afirmación: «*A scientific model is a homomorphism on to which two different situations are mapped, and which actually defines the extent to which they are structurally identical.*» (p. 113). Mientras sí puede demostrarse el isomorfismo entre las «*rigorous formulations*» de los sistemas científico y gerencial, el homomorfismo «interno» entre ambos «*conceptual models*» y sus correspondientes «*rigorous formulations*» en ambos casos **sólo puede postularse.** La pertinencia o necesidad de una concepción no-enunciativa de las teorías mencionada anteriormente aparece, entre otras razones, para esclarecer que los «*models*» —rigurosa o laxamente formulados— son **elementos teóricos**, esto es, **conjuntos de modelos relacionados de cierta manera** en lugar de modelos aislados. Por otra parte, recordemos que las estructuras aproximativas se definen para el conjunto I de aplicaciones propuestas. En el caso que discutimos, se trata de dos elementos teóricos $T_C = <K_C, I_C>$ y $T_G = <K_G, I_G>$ provistos de estructuras aproximativas adecuadas a nivel de I_C e I_G.

---

[14] Vid. A. G. Hamilton: *Lógica para Matemáticos*, Paraninfo, Madrid, 1981, cap. 6.

Por tanto, como la determinación del ámbito de los «**aspectos relevantes**» a considerar no es un asunto definitivo, entonces podemos obtener diversos elementos teóricos científicos de un mismo fenómeno científico (vg. las versiones lagrangiana y hamiltoniana de la mecánica clásica) y diversos elementos teóricos gerenciales (como el MSV) de un mismo fenómeno organizacional (vg. la estructura y funcionamiento de PDVSA o INDULAC). Algunas de las relaciones intermodélicas definidas por la metateoría estructural (especialización, reducción) son de gran ayuda para esclarecer las **relaciones** existentes entre esos distintos elementos teóricos.