EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
Editores

ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Modelos de datos y progreso científico, desde una perspectiva realista-estructural

Adriana Spehrs[*]

Presentación

En esta comunicación analizo críticamente el criterio de evaluación comparativa de teorías que propuse en un trabajo presentado el año pasado en estas jornadas.[1] En aquella ocasión sostuve que este criterio permitía establecer si la sustitución de una teoría por otra contribuía al progreso científico. Este criterio de progreso se inspira en una interpretación del realismo estructural de acuerdo con la cual hay una semejanza puramente extensional entre la estructura de la realidad y la compartida por los modelos de nuestras mejores teorías.[2] Así, el progreso al que se refiere este criterio consiste en un incremento de nuestro conocimiento de la estructura de la realidad, sin que podamos asegurar que aumenta el conocimiento de la naturaleza de las entidades postuladas por la ciencia. En esta ocasión, en cambio, cuestiono la pretendida contribución de este criterio al respaldo de una posición realista, examinando las razones que permitirían sostener la existencia de una semejanza estructural entre los modelos de nuestras mejores teorías científicas y el ámbito de la realidad al que éstas se refieren.

El criterio de progreso

El criterio propuesto se sustenta en la versión del realismo estructural defendida por Grover Mawell y atribuida a F. Ramsay, según la cual el contenido cognitivo de los conceptos teóricos involucrados en una teoría científica se agota en la estructura de dicha teoría, tal como queda expresada mediante el enunciado Ramsay correspondiente. El enunciado Ramsay de una teoría permite inferir las mismas consecuencias observacionales que aquella, pero preserva la estructura original de la teoría. Así, según esta interpretación del realismo estructural, el contenido cognitivo de una teoría se reduce a sus consecuencias observacionales de la teoría, junto con la afirmación de que hay clases no vacías de entidades que constituyen un modelo de cierta estructura lógico-matemática abstracta, y la aseveración de que la descripción de los fenómenos observables está inmersa en esa estructura abstracta más rica. [3]

De acuerdo con el criterio de progreso propuesto, una teoría T2 incrementa el conocimiento de la estructura de la realidad con respecto a otra teoría T1 si se satisfacen las siguientes condiciones, siendo TR1 y TR2 los enunciados Ramsay correspondientes a las teorías T1 y T2:

C. 1 Todo modelo observacional Mo que esté inmerso en un modelo M1 de TR1, también debe estar inmerso en un modelo M2 de TR2

Esta condición exige que T2 sea al menos tan empíricamente adecuada como T1.

C. 2 Hay al menos un modelo observacional Mo inmerso en algún modelo M2 de TR2 que no está inmerso en ningún modelo M1 de TR1.

[*] FFyL, UBA.

Esta condición requiere que T2 supere en adecuación empírica a T1.

C. 3 La clase de los modelos de TR1 incluye algún modelo M que no es modelo de TR2.

Esta condición C.3 garantiza que T2 imponga restricciones más exigentes a la clase de sus modelos posibles que las impuestas por T1. De lo contrario, la elección de T2 en reemplazo de T1 no supondría necesariamente un incremento del conocimiento de la estructura de la realidad.[4] Pues, para la satisfacción de las condiciones C.1 y C.2 es suficiente que T2 imponga menos restricciones que T1 -o restricciones menos exigentes- a la clase de sus modelos.[5] Esta posibilidad queda excluida por la condición C.3. Cabe aclarar que los modelos de T1 que no son modelos de T2 no pueden tener submodelos observacionales –es decir, modelos observacionales inmersos en ellos- que no sean también submodelos observacionales de algún modelo de T2, ya que de lo contrario no se satisfaría C.1.

La formulación de este criterio de progreso en términos de subestructuras inmersas en modelos del enunciado Ramsay de una teoría tiene una importante ventaja con respecto a formulaciones alternativas en términos de consecuencias observacionales. Pues, como señala Hintikka, la oración de Ramsay pone de manifiesto que la contribución de los conceptos teóricos al significado cognitivo de una teoría consiste en restringir **indirectamente** la clase de sus posibles modelos observacionales. Los conceptos teóricos imponen tal restricción exigiendo que cada modelo observacional Mo esté inmerso en una estructura más rica M que sea modelo de la teoría T. El enunciado Ramsay **impone el mismo requisito de inmersión que la teoría original**, pero en él se manifiesta el carácter puramente estructural de este requisito.[6] Pues la mera existencia de las clases que constituyen la extensión de estos conceptos teóricos es suficiente para imponer la restricción.[7]

La consecuencia de este requisito de inmersión que interesa destacar es que aunque tanto la oración de Ramsay TR de una teoría T como la subteoría observacional maximal[8] T'de T tengan las mismas consecuencias observacionales que T, **TR impone condiciones más restrictivas a la clase de sus modelos observacionales que las impuestas por la subteoría observacional maximal T'.** Pues, a diferencia de T', TR conserva la estructura de la teoría original. En efecto, como se mostró en la comunicación anterior, cuando T incluye un concepto teórico que **no es semánticamente Ramsay-eliminable,**[9] entonces no todos los modelos de la subteoría observacional maximal T' de T serán modelos de la oración de Ramsay TR de esa teoría. Más precisamente, el conjunto de los modelos observacionales inmersos en modelos de TR es el conjunto de los modelos de T' cuyas expansiones son modelos de la teoría original T.

Limitaciones del criterio propuesto

No obstante, la superioridad de esta formulación estructural del criterio propuesto queda neutralizada cuando la subteoría observacional maximal de una teoría T tiene modelos finitos. Pues esta formulación del criterio de progreso garantiza que los conceptos teóricos cumplan con la función de imponer el requisito de inmersión sólo cuando cada modelo de la subteoría observacional maximal de T es **infinito**. Podría defenderse la superioridad de la formulación del criterio propuesto aduciendo que, si T presupone la teoría de los números reales, entonces generalmente su subteoría observacional maximal T' no tendrá modelos finitos. Sin embargo, desconocemos cómo se refleja la restricción de inmersión en el análisis efectivo de los modelos de una teoría, pues sólo podemos estudiar estructuras finitas de datos observados.

Precisamente, el tratamiento de esta dificultad me condujo posteriormente a cuestionar en qué medida podía garantizarse la pretendida semejanza estructural entre los modelos observacionales de nuestras mejores teorías científicas y la del ámbito de la realidad que pretenden describir.[10] A fin de discutir esta pretensión, parece oportuno examinar los trabajos de P. Suppes dedicados al análisis de la conexión entre las estructuras teóricas y los datos registrados en circunstancias experimentales. La concepción suppesiana parece particularmente apropiada para una evaluación crítica del criterio de progreso ya que, en ella, los modelos observacionales son estructuras finitas. De acuerdo Suppes, la noción de modelo propuesta por Tarsky es el concepto necesario para la formulación precisa de una teoría científica y para el análisis cuantitativo de los datos. Suppes enfatiza que la noción de modelo –entendida como entidad conjuntística del tipo lógico apropiado, como una n-upla ordenada consistente de un conjunto de objetos, relaciones y operaciones sobre esos objetos- provee una herramienta intelectual imprescindible para cualquier tratamiento estadístico serio de la conexión entre una teoría y los resultados experimentales.[11]

Suppes señala que un examen preciso de la relación entre teorías empíricas y datos relevantes requiere la consideración de una jerarquía de modelos de diferentes tipos lógicos. La necesidad de tal jerarquía es consecuencia de que la teoría emplea conceptos que no tienen un correlato observable directo en los resultados experimentales. Además, los modelos de una teoría suelen contener funciones continuas o secuencias infinitas, mientras que los datos disponibles son siempre de carácter discreto y finitista. Según Suppes, las relaciones entre las estructuras compartidas por los modelos correspondientes a los diferentes niveles en esta jerarquía se pueden analizar formalmente y evaluar experimentalmente.[12]

Sin embargo, los modelos de datos –es decir, las estructuras observacionales necesarias para aplicar el criterio de progreso propuesto- son modelos tarskianos. Es decir, los modelos de datos son realizaciones de una teoría acerca de los datos y, en consecuencia, no pueden considerarse como meras descripciones de lo que efectivamente percibimos.[13] Así, Suppes enfatiza que los resultados experimentales constituyen una multiplicidad diversa y compleja que no puede compararse directamente con un modelo de una teoría. Se necesitan varios tipos de supuestos para reducir los resultados experimentales a una entidad que pueda compararse directamente con un modelo de una teoría.[14] Por eso, todo modelo observacional omite los detalles de las situaciones experimentales que proporcionaron los datos.

Con el propósito de aclarar su concepción, Suppes suministra un ejemplo de la jerarquía de modelos mediadora entre teoría y evidencia empírica, examinando la teoría de la respuesta lineal. Supongamos que en cada ensayo un organismo puede dar una de dos respuestas posibles A1 o A2, luego de lo cual recibe una de dos señales R1 o R2 cada una de las cuales refuerza una de las dos respuestas. Un resultado experimental posible es una secuencia infinita de pares ordenados cuyas componentes representan la respuesta observada y el refuerzo dado en cada ensayo. Supongamos que el parámetro de aprendizaje θ describe el índice de aprendizaje. Una realización posible de la teoría es una terna ordenada $\langle X, Px, \theta\rangle$, donde X es el conjunto de todas las secuencias infinitas posibles de pares ordenados cuya primera componente es una de las dos respuestas A1 o A2 y la segunda componente es una de las dos señales de refuerzo R1 o R2, Px es una medida de probabilidad sobre el cuerpo de Borel más pequeño que incluya el cuerpo de los conjuntos cilíndricos de X, y θ es un número real del intervalo (0,1]. Una realización posible <X, Px, θ> de la teoría es un modelo de la teoría, si satisface los siguientes axiomas:

1. Cuando se refuerza una respuesta, la probabilidad de obtener esa misma respuesta en el siguiente ensayo aumenta según cierta transformación lineal.

$$\textbf{Si } P(R_{i,n} \cdot A_{i,n} \cdot x_{n-1})>0, \textbf{ entonces } P(A_{i,n+1}/R_{i,n} \cdot A_{i,n} \cdot x_{n-1})=(1-\theta)\, P(A_{i,n}/x_{n-1}) + \theta$$

2. Cuando se refuerza la respuesta alternativa a la efectivamente dada, la probabilidad de obtener la respuesta dada en el siguiente ensayo disminuye según cierta transformación lineal:

$$\textbf{Si } P(R_{j,n} \cdot A_{i,n} \cdot x_{n-1})>0 \textbf{ y } i\neq j\textbf{, entonces } P(A_{i,n+1}/R_{j,n} \cdot A_{i,n} \cdot x_{n-1})=(1-\theta)P(A_{i,n}/x_{n-1})$$

donde $A_{i,n}$ es el suceso 'respuesta A_I en el ensayo n'; $R_{j,n}$ es el suceso 'señal de refuerzo j en el ensayo n', con i, j=1,2; y para todo x de X, x_n es la clase de equivalencia de todas las secuencias de pares ordenados de X que son idénticas a x hasta el ensayo n.
Nótese que ninguna realización posible de la teoría puede ser una realización posible de la teoría de los datos experimentales pues ningún experimento real puede incluir infinitos ensayos, y además el parámetro θ no es directamente observable, así que θ no es uno de los datos registrados. En este caso, los valores de θ no pueden determinarse independientemente sino que deben estimarse a partir de los datos. Las predicciones sólo podrán formularse cuando se haya obtenido tal estimación.

Consideremos una tipo particular de experimentos empleado para evaluar esta teoría: la de los experimentos con programas de refuerzo simple no contingente. En esta clase de experimentos, en cada ensayo en el que se obtiene la respuesta A1, la probabilidad de un refuerzo R1 es π1, independientemente del número de ensayos ya ocurridos y de los patrones de respuesta y de refuerzo obtenidos previamente. Similarmente, si se obtiene una respuesta A2, la probabilidad de un refuerzo R2 es π2. De modo que para cualquier ensayo n, la condición definitoria del programa de refuerzo simple no contingente es **C.D.**:

$$P(R_{1,n}/A_{1,n})= \pi_1= 1 - P(R_{2,n}/A_{1,n}) \quad \text{y} \quad P(R_{2,n}/A_{2,n})= \pi_2 = 1 - P(R_{1,n}/A_{2,n})$$

Supongamos que el experimentador elige, sobre la base de una tabla de números aleatorios, la secuencia de señales de refuerzo que empleará en los 600 ensayos que efectuará con cada sujeto, y que sólo registra la respuesta obtenida y el refuerzo dado en cada ensayo. En estas condiciones, una realización posible de la teoría del experimento es un par ordenado <Y,Py>, donde Y es un conjunto finito compuesto por todas las secuencias finitas de 600 ensayos. Estas secuencias tienen como términos pares ordenados cuya primera componente es una de las posibles respuestas A_1 o A_2 y su segunda componente es una de las dos posibles señales de refuerzo R_1 o R_2. Además, Py es una medida de probabilidad sobre el conjunto de todos los subconjuntos de Y. Una realización posible <Y,Py> es un modelo de la teoría del experimento si la medida de probabilidad Py satisface la condición definitoria **C.D** del programa de refuerzo simple no contingente.

Suppes señala que los modelos del experimento así definidos son entidades muy distantes de los datos reales. Pues, en un experimento con -por ejemplo- 40 sujetos, 40 secuencias efectivamente observadas de 600 pares ordenados cada una, son una cantidad insignificante de las 4^{600} secuencias de Y.[15] Por esta razón, Suppes juzga necesario buscar un modelo más cercano a la situación real para representar las frecuencias condicionales relativas de refuerzo usadas. Con este propósito, considera como realización posible de la teoría de los datos cualquier n-upla Z de elementos del conjunto Y, siendo n el número de sujetos del experimento.[16] Una realización posible de la teoría de los datos es un modelo de los datos si las frecuencias relativas condicionales de las señales de refuerzo R_1 y R_2 se ajustan lo suficientemente bien a la medida de probabilidad Py del modelo del experimento.

No obstante, Suppes advierte que ningún test simple de la bondad del ajuste garantiza que una posible realización Z de la teoría de los datos sea un modelo de los datos. La evaluación de la bondad del ajuste requiere, entre otras condiciones, determinar:

(1) si las frecuencias relativas condicionales de las señales de refuerzo, para cada individuo, se aproximan suficientemente a πi o a $(1-\pi i)$;

(2) si estas frecuencias relativas condicionales permanecen constantes a través de los ensayos; y

(3) si son independientes de las señales de refuerzo precedentes y de las respuestas anteriores

Entonces, para cada realización posible Z de los datos, se define un estadístico T(Z) -es decir, una variable aleatoria con una distribución de probabilidad conocida- para tratar cada una de estas cuestiones. Aceptaremos la hipótesis nula de que Z es un modelo de los datos si el valor obtenido de T(Z) es mayor o igual que algún nivel de significatividad α, bajo el supuesto de que la hipótesis nula sea efectivamente verdadera. Pero Suppes advierte que ni siquiera la satisfacción conjunta de los tests con un nivel de significatividad mayor o igual a 0.05 parece intuitivamente suficiente para garantizar que una realización posible Z de los datos sea un modelo de los datos.

Por otra parte, el autor reconoce que si bien es claro qué es lo que el experimentador registra en un experimento, la noción de realización posible de los datos no deja de ser ambigua.[17] La definición precisa de los modelos de datos, para cualquier experimento, requiere de una teoría de los datos en el doble sentido de una teoría del procedimiento experimental y de una teoría empírica de los fenómenos que se están estudiando. Pero el carácter preciso de un modelo del experimento y un modelo de los datos no está determinado unívocamente por el experimento.[18] Los modelos de datos no toman en consideración muchos de los problemas del diseño experimental. Pues aunque parte de la información sobre el diseño experimental puede ser formalizada e incorporada en los modelos de datos, no toda la información puede incorporarse allí. La caracterización de los modelos de datos no está determinada por la información relevante acerca del diseño experimental, parte de la cual sí puede formalizarse fácilmente. Además, como no es sencillo establecer qué información es relevante, siempre se supone que se cumplen ciertas cláusulas *ceteris paribus*.[19] De todos modos, los modelos de datos se restringen a aquellos aspectos del experimento que tiene un análogo paramétrico en la teoría, pues están diseñados para incorporar toda la información acerca del experimento que pueda emplearse en tests estadísticos de adecuación de la teoría.

Dado que Suppes incluye dentro de la teoría de las condiciones ceteris paribus cualquier consideración intuitivamente relevante con respecto al experimento que no pueda formalizarse ni recibir tratamiento estadístico, no pueden explicitarse formalmente las relaciones entre los modelos de este nivel y el nivel inmediato superior, el de la teoría del diseño experimental. En este segundo nivel se incorporan consideraciones que pueden formalizarse, pero que se consideran ajenas a la teoría particular que se testea. Las relaciones de este nivel con el de la teoría de los datos pueden explicitarse formalmente, en contraste con lo que sucede con el conjunto en principio infinito de condiciones ceteris paribus. En cualquier caso, a la luz de la concepción de Suppes, parece discutible el supuesto de que los modelos de datos tienen una estructura isomorfa a la del ámbito de fenómenos estudiados, con respecto a los conceptos básicos de la teoría. Suppes señala que un modelo de datos es sólo una abstracción que representa el resultado de la compleja práctica experimental de producir datos. Pero, además, el autor sostiene que, por lo menos en física –como sucede con la teoría de la respuesta lineal- la relación entre estructuras empíricas finitas y los modelos de una teoría no es del tipo estudiado en teoría de modelos, sino que es de índole estadística. Suppes afirma que, dado un modelo de los datos concreto -con determinados parámetros experimentales π_1 y π_2- seleccionamos el modelo de la teoría cuyo parámetro de aprendizaje θ maximice la probabilidad esperada de los registros tal como se exhiben en el modelo de los datos. Establecido θ, el modelo de los datos estará inmerso en un modelo de la teoría.

Consideraciones finales

El análisis del ejemplo propuesto procura destacar las dificultades planteadas por el supuesto de semejanza estructural en que se sustentaba el criterio de progreso que propuse anteriormente. Podría creerse, no obstante, que el realista aún cuenta con el recurso a una variante estructural del denominado "argumento del no milagro". Esta variante tendría como premisas la afirmación de que la ciencia progresa y la de que la existencia de una semejanza estructural entre la realidad y los modelos observacionales inmersos en los modelos teóricos de nuestras mejores teorías constituye la mejor explicación disponible de ese progreso. La conclusión del argumento sería que –muy probablemente- la estructura de la realidad sea semejante a la de estos modelos. Sin embargo, sin una elucidación adecuada de la noción de progreso plasmada en otro criterio para la determinación de la progresividad del cambio teórico, la primera premisa de este argumento carecería de sustento. Pues, recurrir al criterio de progreso anteriormente propuesto sólo sería razonable en caso de ya hubiéramos resuelto las dificultades que plantea el supuesto de isomorfia entre alguna de las posibles estructuras especificables en el ámbito de la realidad que se estudia y la estructura de los modelos de datos. En consecuencia, el recurso a esta variante estructural del argumento del no milagro sólo proporcionaría una defensa circular del realismo estructural.

Notas

[1] Spehrs, A. "Realismo estructural y progreso", *Epistemología e Historia de la Ciencia*, vol. 11: 775-781, 2005.

[2] Empleamos aquí la noción de teoría de Suppes, de acuerdo con la cual no hay un modo simple de definir las teorías en términos de entidades abstractas: las teorías científicas no se identifican con conjuntos de enunciados, ni con sistemas axiomáticos parcialmente interpretados. Esta perspectiva semanticista sugiere, en lugar de caracterizar intrínsecamente una teoría, definir la clase de sus modelos. Los modelos son entidades extralingüísticas abstractas, estructuras propias de la teoría de conjuntos, que pueden caracterizarse mediante diferentes formulaciones lingüísticas.

[3] Una estructura M' está inmersa en otra M si en M hay una subestructura M'' isomorfa con M'. Dos estructuras $\langle A, f, R\rangle$ y $\langle B, g, S\rangle$ son isomorfas si hay una función biyectiva h que hace corresponder a cada elemento de una de las estructuras valores que son elementos de la otra estructura, de modo que $h(f(x_i))=g(h(y_i))$ y que si $\langle x_1, \quad , x_n\rangle \in R$ entonces $\langle y_1, \quad , y_n\rangle \in S$

[4] Conviene señalar que este criterio <u>no</u> presupone que el ámbito de la realidad que pretende describir una teoría solo puede ejemplificar una única estructura. Sólo se requiere el reconocimiento de que dicho ámbito no puede ejemplificar cualquier estructura.

[5] Esto sucedería, por ejemplo, si T2 sólo exige que sus modelos observacionales satisfagan los axiomas de la estructura de grupo mientras que T1 exige, además, que sus modelos observacionales sean grupos conmutativos

[6] Hintikka, J "Ramsay Sentences and the Meaning of Quantifiers", *Philosophy of Science*, 65, 1998: 289-305

[7] Así, no importa a qué individuos particulares –o n-tuplas de individuos- se aplican los conceptos teóricos. Sólo importa que la estructura constituida por esos individuos –o n-tuplas- con respecto a sus propiedades y relaciones observables, satisfaga la teoría T.

[8] Si T' es subteoría observacional maximal de T con respecto al vocabulario observacional de T', $L(\lambda)=L(T')$ de T', entonces este lenguaje contiene los mismos axiomas lógicos y reglas de inferencia que el lenguaje de T, $L(\mu\cup\lambda)=L(T)$, aunque éste contenga posiblemente constantes extralógicas que no incluye $L(\lambda)$, de modo que $T\cap L(\lambda)=T'$

[9] Un concepto teórico -una constante extralógica- $P \in L(\mu)$ de una teoría T es **semánticamente Ramsay-eliminable** si y sólo si hay una subteoría recursivamente axiomatizable $T'(\lambda)$ de $T(\lambda\cup\mu)$ de modo tal que todo modelo $M'=\langle D, O1, \quad On\rangle$ de $T'(\lambda)$ tiene una expansión $M=\langle D, O1, \quad On, P\rangle$ que es modelo de T.

[10] Esta dificultad persiste aún en el caso de que se admita, como admitimos aquí, que el ámbito de la realidad que pretende describir una teoría puede ejemplificar diversas estructuras, aunque no cualquiera.

[11] Suppes, P "A comparison of the meaning and uses of models in mathematics and the empirical sciences", *Synthese*, 12, 1960, 287-301

[12] En conexión con las observaciones de Hintikka anteriormente destacadas acerca de la función de los conceptos teóricos, es importante señalar que Suppes considera que en cada nivel la teoría cobra significado empírico a través de las conexiones formales con las teorías del nivel inmediato inferior

[13] Suppes, P "Model of data", *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 1960 International Congress* ", Nagel, Suppes & Tarsky eds., Stanford University Press, Stanford, 1962, 252-261

[14] op. cit. Suppes, P , 1960, 287-301

[15] El conjunto Y contiene 4^{600} secuencias, pues hay 4 posibles pares ordenados $\langle A1,R1\rangle$, $\langle A1,R2\rangle$, $\langle A2,R2\rangle$ y $\langle A2,R1\rangle$ para cada uno de los 600 ensayos

[16] El dominio de las realizaciones posibles de los datos para un experimento con 40 individuos contendrá 40 n-uplas Z de 600 pares ordenados cada una.

[17] op. cit. Suppes, P., 1960, 287-301

[18] Suppes, P "Model of data", *Logic, Methodology and Philosophy of Science. Proceedings of the 1960 International Congress* ", Nagel, Suppes & Tarsky eds., Stanford University Press, Stanford, 1962, 252-261

[19] De acuerdo con el autor, en este caso podría ser relevante desde las fases de la luna hasta el coeficiente intelectual de los sujetos.