

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XXII JORNADAS

VOLUMEN 18 (2012)

Luis Salvatico  
Maximiliano Bozzoli  
Luciana Presenti

Editores



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



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



## Selección y ajuste de parámetros observacionales en las prácticas astronómicas: consideraciones sobre el modelo de datos de Suppes

*Maximiliano Bozzoli\* y Dante Paz<sup>o</sup>*

### Introducción

Este trabajo gira en torno a la dependencia que poseen las prácticas observacionales actuales con respecto a los instrumentos vigentes en la astronomía contemporánea y a la calidad de los datos obtenidos por los mismos. Diferentes modelos de datos observacionales son tomados bajo consideración al momento de definir las técnicas necesarias para el modelado computacional de determinados fenómenos astronómicos. De esta manera, los criterios epistémicos que subyacen tanto en la selección como en el ajuste de parámetros observacionales están estrechamente vinculados a las diversas tradiciones y prácticas astronómicas que condicionan cada metodología observacional de forma particular.

El objetivo de este trabajo consiste en mostrar que la concepción propuesta por Patrick Suppes (Suppes, 1988), sobre una jerarquía de teorías, modelos y de sus relaciones con los sistemas empíricos, descuida aspectos prácticos inherentes a la parametrización y su adecuación con bases de datos observacionales. Específicamente, con un ejemplo astronómico, se intentará demostrar que en el nivel de la teoría del experimento y de sus correspondientes modelos, la elección y el ajuste de parámetros están subdeterminados por la observación vinculada a diferentes modelos de datos. A diferencia de la concepción suppesiana, se sostendrá que esta actividad no se define mediante el tratamiento estadístico dado sólo por las teorías y modelos superiores de la jerarquía, sino a partir de conjuntos de datos observacionales propios del nivel de la teoría del diseño experimental y de sus modelos.

De esta manera, se concluirá que estos últimos involucran un dominio de elementos observacionales interrelacionados con diversos modelos de datos. Así, la sofisticación de estos elementos excede claramente los límites de la teoría del fenómeno a contrastar. Por ello, y dada la complejidad de esta práctica, se piensa que es inapropiado realizar una descripción formal, como así también una caracterización como condiciones del tipo *ceteris paribus* de dicha infradeterminación.

### Teorías y modelos

En sus "Estudios de filosofía y metodología de la ciencia", Suppes propone una caracterización abstracta de la noción de modelo, apelando a la teoría matemática de conjuntos. Desde esta perspectiva, cualquier modelo de una teoría estará conformado por un conjunto de entidades, relaciones y operaciones sobre ese conjunto. Según este autor, el concepto de modelo ha tenido diversos usos en las ciencias empíricas, en particular en la física. Históricamente, en esta disciplina puede notarse que esta noción es empleada más frecuentemente en aquellas áreas donde las teorías tomadas bajo consideración poseen explicaciones inadecuadas o pobres respecto de determinados fenómenos observados. Así,

\* UNC - CONICET, maxibozzoli@gmail.com

<sup>o</sup> UNC - CONICET, dante.paz@gmail.com

los diferentes usos de los modelos van a depender de considerarlos como objetos físicos o como entidades teóricas o lingüísticas.

En diferentes ramas de la física y de la astronomía existen teorías que, en principio, son expresadas en términos amplios y generales. Luego, se llevan a cabo experimentos y observaciones cualitativas para dar cierto contraste "intuitivo" a las mismas. A fin de expresarlas en términos cuantitativos se construyen modelos, como realizaciones posibles de esas teorías, que permiten establecer parámetros de estimación y especificar aquellas hipótesis que pueden ser eventualmente comprobatorias. Así, un uso apropiado de la noción de modelo puede venir, en este contexto, de la matemática estadística.

Suppes sostiene que la formulación de una teoría se halla estrechamente vinculada con la actividad experimental y observacional y por ende con el desarrollo de las técnicas correspondientes. Según él, los científicos deberían expresar sus teorías de una manera conceptual, es decir, no pretender que las mismas estén formuladas con exactitud matemática. De esta manera, pueden establecerse conexiones claras entre las teorías y las observaciones y experimentos necesarios para su contraste. Este autor además define que la noción de modelo empleada por los lógicos matemáticos es fundamental, ya que cumple con los requisitos para establecer una enunciación apropiada de las teorías y un análisis preciso de los datos. No obstante, afirma que no deben dejarse de lado aquellas caracterizaciones informales y usos diferentes en torno al concepto de modelo dado por las ciencias empíricas.

De acuerdo con este punto de vista semántico, la forma correcta en la que deben establecerse las teorías es mediante una axiomatización dentro de un contexto conjuntista. En esta dirección, un modelo de una teoría es, según la definición tarskiana, una realización posible en la cual todos los enunciados válidos de la teoría son satisfechos. Particularmente, los modelos son  $n$ -tuplas ordenadas conformadas por un dominio de entidades, relaciones y operaciones sobre tal dominio. Por otro lado, un modelo elaborado de una teoría incluye funciones continuas, mientras que un modelo como una estructura conjuntista de datos incluye secuencias finitas.

Según Suppes, los modelos de datos no incluyen la vasta y compleja información inherente a las experiencias observacionales y experimentales, debido a que estas entidades no son comparables con aquellas del dominio de los modelos de las teorías. Este autor afirma que la experiencia propia de las diferentes prácticas es reducida, mediante suposiciones drásticas, a la hora de generar un contraste entre ambos modelos. Al analizar sobre cómo pueden vincularse estos últimos, sostiene que ninguna versión altamente esquematizada de un proceso observacional/experimental puede ser una buena caracterización de un modelo de datos. Ello se debe a que la teoría que se pretende contrastar y sus posibles realizaciones permiten tratamientos estadísticos que se hallan en un nivel diferente al tratamiento dado por la situación práctica. Por lo tanto, un modelo de datos puede estar determinado tanto por una descripción estadística formal como por una especificación práctica de la muestra, la población y el espacio de la muestra.

### **Análisis y modelos de datos**

De acuerdo a la concepción estándar, las teorías están conformadas por cálculos lógico-matemáticos y por conjuntos de reglas de correspondencia que permiten transferirles contenido empírico, a partir del cual es posible interpretar ciertos términos primitivos del sistema abstracto. A diferencia de esta perspectiva, Suppes propone una taxonomía de

diferentes teorías con el objetivo de dar una perspectiva alternativa en el tratamiento de los datos observacionales. Para ello hace hincapié en los errores de medición, distinguiendo entre aquellas teorías deterministas y probabilistas con datos corregibles y no corregibles, respectivamente. Más allá de los diferentes tipos de teorías, la distinción fundamental entre los datos hace referencia a la aplicación o no de una teoría del error tanto en la adquisición como en la reducción de los mismos.

En aquellas teorías deterministas que no admiten una corrección de los datos observacionales su verificación es de carácter cualitativo. Ello significa que dichas teorías presentan ciertas limitaciones propias de su elaboración y no necesitan contemplar los diversos errores inherentes a la medición, registro y análisis de los datos obtenidos. Según Suppes, en este contexto se hallan la mayoría de las teorías astronómicas de la antigüedad, las cuales no involucraban ningún tipo de teoría para tratar los errores de medición. Así, existía una fuerte tendencia que consideraba sólo las aproximaciones matemáticas para lograr un ajuste eficiente entre las teorías y los datos. En consecuencia, al no emplear ninguna teoría del error en el análisis de estos últimos, se dejaban de lado todas aquellas observaciones discrepantes, las cuales no se ajustaban con exactitud a la teoría considerada.

Por otra parte, existen teorías deterministas con datos corregibles. Aunque la corrección no viene dada por la estructura interna de estas teorías, las mismas permiten un análisis del error mediante el empleo de otras. Específicamente, esto se debe a la capacidad interna que poseen las teorías de base en identificar y reconocer datos erróneos, los cuales al no ser descartados pueden ser analizados y corregidos. No obstante, el empleo sistemático de una teoría del error en la astronomía moderna no se dio sino hasta el siglo XVIII con la aplicación de la teoría de la probabilidad para el tratamiento y la corrección de datos observacionales. Posteriormente, esto permitió que las discrepancias entre las diferentes teorías deterministas y las observaciones correspondientes puedan ser ajustadas. En esta dirección, Suppes afirma que la teoría de la relatividad es un claro ejemplo de una teoría determinista con datos corregibles. La misma pone énfasis en la precisión del instrumento de medición involucrado a la hora de contrastar ciertas predicciones teóricas con aquellos resultados observacionales que caen dentro de los límites de error tomados bajo consideración.

En las teorías que incluyen nociones probabilistas, los datos también pueden ser corregibles o no corregibles. En este último caso, el análisis consistiría en comparar las frecuencias relativas observadas con las probabilidades predichas por la misma teoría. Sin embargo, la dificultad surge en la estimación de aquellos parámetros que no pueden determinarse de manera independiente, es decir, a partir de las predicciones de la teoría. De esta manera, dichas estimaciones se hallan sujetas sólo a los valores observables atribuidos por los datos. Por esta razón, estos últimos son tomados bajo consideración sin ningún tratamiento previo que intente analizar los diversos errores de medición y de registro. Suppes sostiene que estos casos se dan principalmente en ciertos ámbitos experimentales de las ciencias sociales en donde los errores de observación son despreciables. Por lo tanto, no se requiere necesariamente de una teoría del error para tratar las eventuales discrepancias entre la teoría y los datos. A diferencia de esto último, este tipo de tratamientos de datos observacionales es fundamental en las teorías no deterministas de las ciencias físicas. Según este autor, el ejemplo más notable en teorías probabilistas con datos corregibles es la mecánica cuántica. Sin entrar en mayores detalles sólo se mencionará que la teoría estándar

de errores observacionales, en este caso particular, requiere de estadísticas no convencionales para establecer un análisis correcto en torno a la correspondencia entre la teoría y los datos.

De acuerdo con el esquema presentado por Suppes, un modelo de datos es una realización posible, con una estructura conjuntista apropiada, en la cual todos los enunciados válidos de la teoría son satisfechos. Según este autor, esta caracterización lógica de la noción de modelo es fundamental tanto para las ciencias formales como para las ciencias empíricas. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, él no niega el hecho de que existan diferentes usos de esta palabra en las diversas prácticas científicas. No obstante, un uso apropiado de este concepto puede ser tomado a partir del tratamiento estadístico de una teoría vinculado a su contexto observacional y experimental. De esta manera, su principal interés consiste en mostrar la adecuación empírica de las teorías mediante el empleo del análisis estadístico, el cual permite establecer las relaciones pertinentes entre dichas teorías y los datos observacionales. Para lograr este objetivo, Suppes propone una jerarquía de modelos de diferente tipo "lógico".

Un aspecto interesante que plantea este autor tiene que ver con el uso de conceptos teóricos que no poseen un análogo "directamente" observable en los datos observacionales. Otro aspecto es que los modelos posibles de una teoría contienen funciones continuas a diferencia de aquellos datos confirmatorios que presentan características discretas. Por esta razón, además de introducir realizaciones posibles de la teoría que se pretende contrastar, Suppes introduce modelos de datos definidos de la misma manera. Estas realizaciones se corresponden a una teoría de ellos, a partir de la cual se generan modelos que hacen referencia al experimento que arroja tales datos. Él sostiene que esta teoría de los datos se halla estrechamente vinculada tanto al procedimiento experimental, como a la teoría del fenómeno físico que se pretende investigar. En esta dirección, cualquier descripción de los aparatos, accesorios, piezas de equipo, etc., es decir, de los instrumentos que están siendo empleados en un proceso observacional, no se incorpora a la teoría del experimento. Los modelos posibles de esta última teoría también se hallan definidos de manera conjuntista como n-tuplas ordenadas de entidades, relaciones y operaciones sobre tales entidades. De esta manera, un modelo de datos es una realización posible acorde con la teoría del experimento en cuestión y con sus respectivos modelos.

Por un lado, Suppes afirma que los modelos de datos no incluyen la información relevante correspondiente al diseño del experimento. Por el otro, ni la distribución ni la asignación de parámetros físicos, que describen tanto una situación observacional como un medio ambiente experimental, son incorporadas en los modelos de datos. Así, estas caracterizaciones generales, propias del diseño, son consideradas como condiciones *ceteris paribus*, las cuales no pueden formalizarse. En consecuencia, los modelos de datos involucran sólo aquella información pertinente al experimento y necesaria para proveer adecuación empírica a la teoría y a sus modelos del fenómeno bajo investigación.

En suma, dichas condiciones generales ocupan el nivel más bajo de la jerarquía, ya que consideran aspectos "intuitivos" del diseño experimental que no involucran tratamiento estadístico alguno. En el siguiente nivel se encuentra la teoría del diseño experimental y sus realizaciones posibles. Aunque la teoría de este nivel no hace una referencia explícita y trasciende los límites de las teorías de los niveles superiores, la misma puede ser formalizada. De acuerdo con Suppes, el modelo del diseño experimental mantiene una conexión estrecha con el modelo de datos que se halla en el nivel superior. Este último incluye toda la

información relevante sobre los parámetros observacionales definidos por la teoría a contrastar. El siguiente escalón se corresponde a la teoría del experimento y a sus modelos posibles, los cuales son fundamentales para la determinación del modelo de datos y para la contrastación de la teoría del fenómeno. Finalmente, se encuentra el estrato más abstracto ocupado por esta última y sus correspondientes modelos. Así, las diferentes teorías adquieren significado empírico a través de las conexiones formales dadas en cada capa de esta jerarquía.

### **Ejemplo astronómico**

El ejemplo que se tomará a continuación tiene como objetivo estudiar la formación y evolución de las galaxias de acuerdo a la estructura observable del universo en gran escala (Lagos, Cora y Padilla, 2008). Debido a que estos procesos involucran cierta complejidad, se combinan diferentes teorías que conforman la teoría del fenómeno a investigar. Como realizaciones posibles de esta última se generan modelos, los cuales incluyen a su vez otros que se corresponden a las teorías de los diversos aspectos del fenómeno en cuestión. Estos submodelos son conocidos, en las prácticas astronómicas, como un modelo cosmológico estándar, un modelo de materia oscura fría y un modelo astrofísico que integra los diferentes mecanismos propios del gas intergaláctico, galaxias, estrellas y agujeros negros supermasivos.

Por otra parte, en el nivel del experimento se consideran aquellas teorías pertinentes a las técnicas y métodos actuales vinculados a la realización de simulaciones numéricas. Entre éstas se pueden mencionar la teoría de resolución numérica de ecuaciones diferenciales, la teoría sobre las condiciones iniciales y de contorno y las teorías referentes a la implementación de fenómenos astrofísicos en simulaciones computacionales.

De esta manera, los modelos posibles del experimento incluyen un método numérico de integración, consideraciones sobre dichas condiciones iniciales y de contorno y un submodelo llamado en la práctica "modelo semianalítico". Este último permite tener en cuenta los diversos procesos astrofísicos que ocurren por debajo del rango dinámico de integración numérica. Dentro del modelo experimental, más precisamente en este modelo semianalítico, se introducen parámetros observacionales que son seleccionados y ajustados con el fin de adecuar los resultados del modelo computacional a los datos provistos por los diversos catálogos de galaxias observadas.

En esta dirección, los resultados logrados a partir del modelo del experimento numérico son datos instrumentales o crudos, los cuales son procesados y reducidos mediante un modelo de datos que permite atribuirles valores observables. Para ello, el modelo de datos es uno de contraste entre los resultados de la simulación y los catálogos antes mencionados, incluidos en el modelo del diseño experimental (Bozzoli y Paz, 2009). De acuerdo con el esquema suppesiano [Fig. 1], la parametrización se encuentra en el nivel del experimento y los parámetros observacionales están determinados estadísticamente por la teoría inherente a la formación y evolución de las galaxias.

## Jerarquía de Suppes

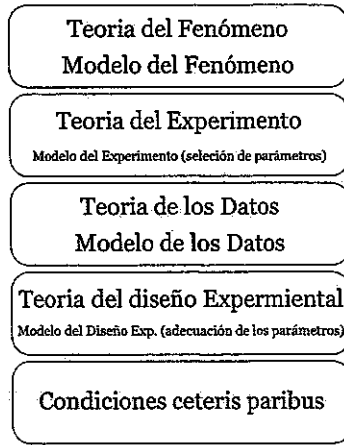


Fig. 1

Así, es posible que la teoría del fenómeno permita estimar y elegir tanto el parámetro de la formación estelar como aquél que asigna la tasa de supernovas en las galaxias. Ambos parámetros regulan valores observables mutuamente dependientes a nivel teórico, o sea, la tasa de natalidad y de mortandad estelar, respectivamente [Fig 2].

## Parametrización

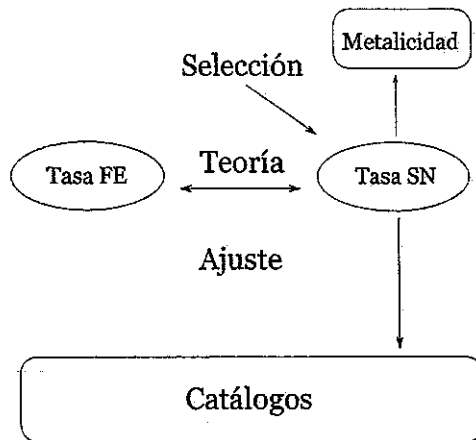


Fig. 2

No obstante, la selección y el ajuste del parámetro de supernovas se encuentra restringido, a diferencia del primero, a un conjunto independiente de observaciones sobre la metalicidad del gas del medio intergaláctico.



Por otra parte, existen otros parámetros observacionales, mutuamente dependientes, pero no en el estrato del modelo del fenómeno. Dichos parámetros están relacionados en el nivel del experimento mediante relaciones empíricas dadas por la observación. Específicamente, la presencia de agujeros negros en los núcleos de las galaxias afecta los resultados arrojados por la simulación. El crecimiento de estos objetos viene dado por dos parámetros: inestabilidades originadas por el disco galáctico y brotes de formación estelar [Fig. 3]. Ambos son seleccionados de acuerdo a una relación empírica observada entre la luminosidad del bulbo de la galaxia anfitriona y la masa del agujero negro huésped. Esta relación permite la adecuación de tales parámetros a través de su calibración mediante observaciones independientes.

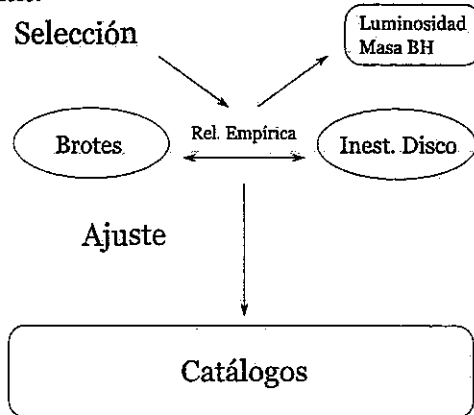


Fig. 3

De esta manera, el contenido empírico es transmitido a los niveles superiores de la jerarquía no sólo mediante el análisis provisto por el modelo de datos. Paralelamente, la selección y el ajuste de parámetros están subdeterminados por ciertas observaciones consideradas en el diseño experimental, las cuales están interrelacionadas con otros modelos de datos [Fig. 4].

**Ejemplo Astronómico**

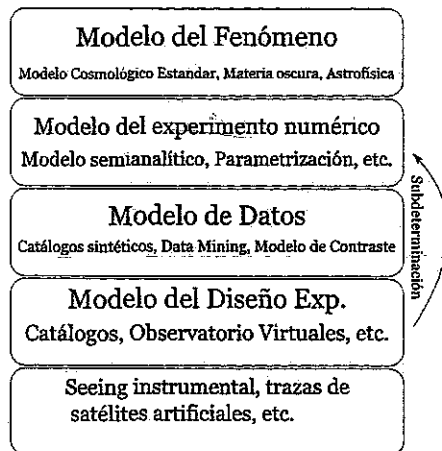


Fig. 4

## Conclusión

Este trabajo ha intentado mostrar que la jerarquía propuesta por Suppes deja de lado una actividad que ocupa un rol central en aquellas prácticas observacionales vinculadas a la modelización computacional de fenómenos astrofísicos complejos. Con un ejemplo astronómico, se intentó ilustrar que dicha actividad no está definida de manera abstracta por los diferentes niveles teóricos de esta jerarquía. Así, la selección y el ajuste de parámetros observacionales se hallan infradeterminados por aquellas capas que exceden los límites de las teorías del fenómeno y del experimento. Aunque el modelo de datos transfiere contenido empírico a los estratos superiores, se concluye que los conjuntos de datos observacionales, integrados al diseño experimental, condicionan la parametrización y por ende las técnicas necesarias para el modelado computacional. Debido a la complejidad del diseño experimental, dada por bases de datos y conjuntos modulares de observaciones interconectadas con múltiples modelos de datos, se concluye además que no es factible formalizar este nivel. Incluso, se considera que no es posible caracterizar tal subdeterminación como una condición general vinculada a los variados aspectos intuitivos propios del diseño observacional/experimental que subyacen en las prácticas astronómicas contemporáneas.

## Bibliografía

- SUPPES, Patrick. Estudios de Filosofía y Metodología de la Ciencia. Trad. A. G. de la Sierra. Madrid: Alianza Editorial, 1988.
- LAGOS, Claudia; CORA, Sofía; PADILLA, Nelson. Effects of AGN feedback on Lambda CDM galaxies. *Monthly of the Royal Astronomical Society* 388 (2): 587-602, 2008.
- BOZZOLI, Maximiliano; PAZ, Dante. La autonomía de los modelos en astronomía. IV Simposio Internacional sobre la Representación en la Ciencia y el Arte (SIRCA). Córdoba: Editorial Brujas, 2009.