

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XX JORNADAS
VOLUMEN 16 (2010)

Pío García
Alba Massolo

Editores



ÁREA LOGICO-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



El rol y el alcance de la medición en la simulación astronómica

Maximiliano Bozzoli • Dante Paz**

Introducción

Este trabajo se sitúa dentro del contexto en el cual las simulaciones computacionales juegan un papel esencial como auxiliares de la práctica observacional en la astronomía. Uno de los roles más importantes tiene que ver con la función que poseen tales simulaciones con respecto a determinadas mediciones de ciertos fenómenos y objetos astronómicos. En este sentido, los modelos de simulación computacional suelen arrojar resultados, los cuales son eventualmente medibles o cuantificables. Tales modelos son entendidos como representaciones de determinados sistemas astrofísicos. Así, mediante el uso de ciertos programas computacionales, los diversos modelos teóricos de fenómenos son implementados en una computadora.

Aunque exista una fuerte tendencia a unificarse y a ocupar el mismo estatus o nivel epistemológico dentro de la práctica observacional/experimental, la medición posee diversos rostros epistémicos con respecto a la simulación y a la observación convencional. Así, el concepto de medición se halla sujeto a una cierta tensión originada por estos dos ámbitos dentro de la práctica científica. El objetivo del presente trabajo consiste en mostrar el alcance que poseen las mediciones logradas a partir de las simulaciones computacionales con respecto a aquellas obtenidas mediante la observación tradicional.

Para mostrar esto, se tomará como hipótesis de trabajo la conceptualización y el análisis planteado por Morrison¹ (2009). Ella sostiene la idea de que en algunos casos, los modelos de simulación son objetos de estudio, en otros, poseen la capacidad de funcionar como instrumentos de medición. En su trabajo, expone además las diferentes maneras en las cuales puede afirmarse que la simulación constituye y forma parte de la experimentación. De esta manera, logra establecer diversas conexiones entre las simulaciones y los diferentes supuestos y estrategias para el modelado de ciertos fenómenos físicos. Tales conexiones forman parte esencial de la actividad experimental. Esto permite clarificar los contextos en los cuales se desarrollan las simulaciones computacionales para vincularlas a dicha práctica.

Según este esquema epistemológico, Morrison afirma que determinar las posibles conexiones entre los diferentes modelos y la medición es importante para distinguir entre medición y cálculo y, a su vez, entre experimento y simulación. Es sabido que la medición tradicional se encuentra ligada al mundo físico de alguna manera causal a través de determinados aparatos. A diferencia

* Universidad Nacional de Córdoba

de ello, el cálculo se halla relacionado a la actividad matemática, es decir, al pensamiento abstracto que se plasma en papel o en una simulación por computadora. La autora sostiene la idea de que las simulaciones computacionales, al tener la capacidad de funcionar como instrumentos de medición, forman parte de la experimentación. En las últimas décadas, las simulaciones han evolucionado notablemente y han dejado de ser meras masticadoras de números para convertirse en herramientas insustituibles en la práctica experimental. Para ilustrar esto se tomará en consideración diversos ejemplos astronómicos relacionados a la modelización de la evolución de la estructura en gran escala del universo.

Desarrollo

Morrison se concentra en una clase particular de simulación computacional, la cual utiliza el método de partículas. Este método involucra seguir el movimiento de una gran cantidad de estas últimas, las cuales son también usadas para calcular la evolución del sistema simulado que se desarrolla en función del tiempo y de ciertas condiciones iniciales preestablecidas. Estos valores iniciales condicionan al sistema no sólo en un tiempo inicial sino en una porción finita de espacio que posee propiedades ligadas a ciertas condiciones límites, inicialmente estipuladas. En consecuencia, la simulación va registrando la evolución de la configuración inicial a medida que se desarrolla en el tiempo. Así, la simulación debe necesariamente disponer de un modelo matemático apropiado para poder representar fielmente el sistema físico bajo consideración. El método de partículas, permite discretizar la solución de las ecuaciones presentadas por el modelo matemático, mientras que la discretización de las ecuaciones, se lleva a cabo mediante aproximaciones de diferencias y elementos finitos.

De esta manera, los diversos sistemas astrofísicos pueden ser modelados mediante el método de partículas mencionado anteriormente. Por un lado, este último asigna a cada partícula ciertas propiedades observables y medibles tales como la masa, la energía, distancia entre ellas, etc. Por otro lado, cada estado del sistema físico representado es definido por determinados atributos asignados a conjuntos de tales partículas. Estas colecciones son también cuantificables y evolucionan de acuerdo a reglas o leyes que dominan a dichas partículas. En las simulaciones de sistemas dinámicos como cúmulos estelares, cada partícula representa una estrella con ciertos atributos observables. De igual forma, en las simulaciones de sistemas de galaxias (grupos o cúmulos) cada galaxia es representada por una partícula con determinadas propiedades físicas observadas. En un caso o en otro, las partículas se rigen de acuerdo a las leyes de la física que gobiernan ambos sistemas. Así, las interrelaciones que vinculan a las partículas de la simulación con estrellas, galaxias o demás objetos naturales están en función de los recursos finitos que provee la computadora en términos de escalas de tiempo y espacio.

En esta dirección, la autora se pregunta sobre cuáles son las relaciones entre este método de discretización, las simulaciones y el sistema físico. Ella argumenta que existe un proceso que comienza en el fenómeno natural y en el modelo matemático utilizado en tal sistema. Luego, se aplica un método de aproximación para discretizar dicho modelo matemático y hacerlo computacionalmente tratable. En consecuencia, las ecuaciones algebraicas son tomadas para describir un modelo de simulación de partículas; el cual es expresado y definido con algoritmos específicos dados por un programa de simulación. Por lo tanto, el modelo de simulación es, en este tipo de casos, el resultado de aplicar una clase particular de discretización al modelo matemático o teórico del sistema físico bajo investigación. Así, la representación dada por un modelo de simulación ayuda a desarrollar los algoritmos necesarios para el diseño y construcción de programas especializados. La arquitectura de un programa se halla estrechamente relacionada con el costo y beneficio existente entre la precisión de la representación y la capacidad del sistema de simulación. Esto establece un balance entre la calidad de la representación, la velocidad de cómputo y la simplicidad del programa empleado. Según Morrison, un "sistema de simulación" se halla constituido por tres elementos principales: una computadora, un programa y un modelo de simulación. Dichos elementos permiten estudiar la evolución de un sistema físico, o sea, investigar los modelos de fenómenos dinámicos, los cuales son representados mediante modelos matemáticos eventualmente sofisticados.

Según la autora, hay suficientes razones como para pensar que este tipo de investigación está estrechamente vinculada a la actividad experimental. Más precisamente, ella se refiere a que tales estudios son experimentos computacionales. En este sentido, podría pensarse que un sistema de simulación propiamente dicho involucra tanto el aparato como el material que está siendo investigado. Por un lado, al tener en cuenta que dicho sistema es en parte considerado como un instrumento experimental, el mismo provee un cierto entorno de control que se nutre de una variedad de condiciones iniciales, valores y parámetros de ajuste. Por consiguiente, tal sistema de simulación posee la capacidad de funcionar como una pieza de equipo de laboratorio; esto además permite que dicho instrumental sea utilizado como un dispositivo para obtener cierto tipo de mediciones. Por otro lado, el material bajo consideración consiste en el modelo de simulación, el cual es una representación del sistema físico de interés. Este último es representado de acuerdo a las limitaciones arrojadas por el método de discretización empleado. En otras palabras, los modelos de simulación logrados a partir del método de partículas permiten generar representaciones apropiadas de modelos de fenómenos físicos. Así, el "material" de un sistema de simulación consiste en la actividad experimental de elaborar tales representaciones mediante el uso de computadoras y programas especializados. De esta manera, Morrison define que un

sistema de simulación se constituye de un aparato, integrado por una computadora más un programa, y del material bajo estudio que involucra un modelo de simulación determinado.

Es tentador pensar que Morrison, cuando se refiere al material bajo investigación, confunde el modelo de simulación con el fenómeno. Esto es, entre la representación lograda en una computadora y las propiedades físicas inherentes a un cierto objeto material que puede ser manipulado. En este sentido, la autora afirma que el material considerado, a diferencia de los experimentos tradicionales, es el modelo de simulación y no el sistema natural que se pretende modelar. De esta manera, ella asevera que tal modelo está siendo estudiado y es intervenido y manipulado mediante el instrumento del sistema de simulación, o sea, a través de la computadora y del programa. En los modelos cosmológicos simulados, la intervención a través del cambio de valores de constantes fundamentales, tales como la expansión del universo, permite observar cambios en la formación y evolución de galaxias y sistemas de éstas. No obstante, el modelo investigado no es más que una representación de un sistema astrofísico que pertenece al mundo natural. Como se mencionó anteriormente, esta representación se halla sujeta a las diversas relaciones que posee con el modelo matemático o teórico del fenómeno físico considerado. Por lo tanto, el modelo de simulación es el objeto de investigación en los "estudios de simulaciones computacionales". No obstante, este modelo es una representación del fenómeno que paralelamente se halla bajo investigación y se pretende modelar con la computadora.

En disciplinas como la cosmología y la astrofísica existen tanto los estudios de simulaciones, inherentes al diseño experimental, como así también aquellos cuyo objeto de investigación es el fenómeno físico. Esta segunda clase de estudios toma como herramienta metodológica a la simulación, permitiendo el contraste del modelo teórico del fenómeno con predicciones de otros modelos como así también con datos observacionales. Un ejemplo de ello es el contraste que hay entre la curva de rotación de una cierta galaxia medida telescópicamente con las curvas predichas por modelos de simulación basados en teorías distintas. En este ejemplo puede notarse además que tales predicciones poseen diversos supuestos, tales como "materia oscura" o "gravedad modificada", que sugieren mecanismos astrofísicos diferentes. En este sentido, cabe destacar que el sistema de simulación cambia, en tanto que se modifican los programas y las técnicas de modelado que resultan más adecuadas según el modelo teórico subyacente. En estas investigaciones, los modelos de simulación son usados como herramientas teóricas que permiten indagar sobre la naturaleza del sistema físico bajo estudio. En este sentido, las simulaciones computacionales se convierten en auxiliares de la práctica observacional/experimental de la astronomía.

Morrison afirma que si se entiende que manipular e intervenir sobre un modelo de simulación es una actividad exclusiva del cálculo y no de la experimentación, entonces, no existe ninguna

base para vincular tal simulación con la medición. Por lo tanto, resultaría imposible relacionar a las simulaciones computacionales como auxiliares de la práctica astronómica. Desde este punto de vista, el solo hecho de manipular modelos y de intervenir en computadoras de un sistema de simulación no alcanza epistemológicamente para situar a tales simulaciones en la actividad experimental. Aún así, al definir que éstas últimas son sólo experimentos numéricos, limitan su alcance y funcionan únicamente como instrumentos de cálculo.

Morrison afirma que los modelos de simulaciones computacionales son herramientas experimentales capaces de funcionar como instrumentos de medición. No obstante, como se ha visto anteriormente, dichos modelos son algunas veces los objetos de investigación en los estudios de simulaciones. La autora argumenta que los modelos de simulación actúan como dispositivos de medición y esto permite que su rol sea fundamental a la hora de definir su carácter experimental. Suponer estos tipos de prácticas de modelado, permite identificar la salida de datos simulados como mediciones.

Los diferentes métodos estadísticos tratan los resultados arrojados por el modelo de simulación. Este tratamiento estadístico de los datos permite la articulación tanto con las predicciones teóricas del modelo del fenómeno físico, como así también con los datos obtenidos mediante diversas observaciones. Así, un buen diseño experimental conecta adecuadamente a ambos. Morrison se refiere a que el nivel de sofisticación del aparato determina la precisión de la medición lograda. Esta precisión viene dada por: la apreciación de una computadora (dada por la capacidad en bits de su procesador) y el nivel de discretización implementado en el programa (dado por los métodos de partículas y de diferencias finitas) Sin embargo, la autora afirma que son los análisis de corrección de factores los que efectivamente determinan la exactitud o fidelidad (accuracy) de la medición. En consecuencia, esta fidelidad se define a partir de las técnicas necesarias para medir de manera discreta el modelo simulado y de los diversos supuestos inherentes al contexto experimental.

Distincuir entre precisión de una medición y exactitud de una medición es de suma importancia a la hora de diferenciar entre medición y cálculo. En este sentido, la fidelidad de un conjunto de mediciones permite realizar inferencias estadísticas confiables. Así, la certeza de tales inferencias se halla en función del valor de verdad correspondiente a las mediciones consideradas. Esto depende del uso del sistema de simulación empleado y del control que se tenga del mismo experimento. Aunque esta distinción es clara en las disciplinas experimentales tradicionales, en el presente trabajo se piensa que la misma puede ser repensada y ampliamente discutida en aquellos contextos en los cuales se emplean simulaciones computacionales. No obstante, Morrison sugiere además diferenciar entre medición fundamental y derivada. La primera hace referencia a la observación de ciertas relaciones existentes entre los objetos investigados. Luego, se definen los procedimientos

estadísticos necesarios (de conteo, básicamente) para cuantificar dichas relaciones observadas. La segunda toma estos procedimientos pero además agrega un cálculo a través de diferentes operaciones matemáticas abstractas. Esta distinción “intuitiva” entre mediciones fundamentales y derivadas, permiten diferenciar entre medición y cálculo.

En esta dirección, el presente trabajo intenta esclarecer dicha distinción mencionando un ejemplo del estudio de la estructura a gran escala del universo². Estas estructuras evolucionan y forman una red de cúmulos y grupos interconectados a través de filamentos. Dichas estructuras se hallan constituidas por asociaciones de galaxias que van desde unas pocas decenas, a miles de estos objetos. El marco teórico implementado en el modelo de simulación hace referencia a la cosmología estándar. Esta última explica la formación de estos sistemas naturales mediante diferentes mecanismos astrofísicos; tales como la inestabilidad gravitacional por la presencia de materia oscura, por ejemplo.

Así, de acuerdo a Morrison, el sistema de simulación se halla conformado por un clúster de computadoras, un programa que implementa un método de partículas determinado y un modelo de simulación que representa la evolución dinámica de la estructura del universo. Los datos arrojados por el modelo simulado son las posiciones de las partículas en una sección cubica de tamaño cosmológico, o sea, una porción significativa estadísticamente de acuerdo con la fidelidad de la medición que se pretende obtener. Sobre este volumen se aplican condiciones de contorno, ya determinadas en los estudios de simulación, y condiciones iniciales definidas mediante ciertas observaciones tales como las del fondo de microondas. El sistema natural que se pretende modelar, computacionalmente, es la distribución estadística de las galaxias en estructuras a gran escala (Figura 1).

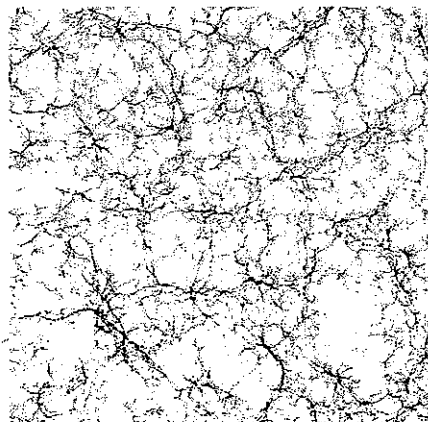


Figura 1 Simulación de la formación y evolución de la estructura del universo a gran escala.

Por otro lado, las observaciones obtenidas espectroscópicamente revelan la distribución de la posición angular y la distancia radial de un gran número de galaxias sobre una región del cielo³. Estos catálogos contienen las posiciones y distancias astrométricas de cerca de un millón de galaxias (Figura 2).

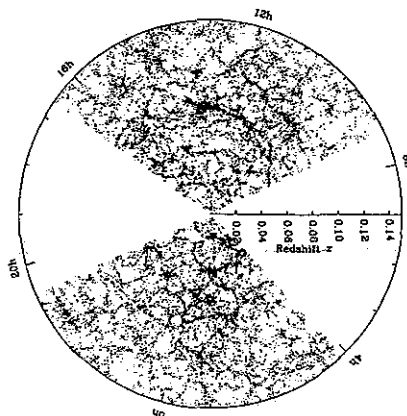


Figura 2. Catálogo espectroscópico de galaxias del Sloan Digital Sky Survey (SDSS)

De esta manera, el espacio muestral es estadísticamente comparable al obtenido mediante la simulación computacional. En consecuencia, tanto el modelo de datos observacionales como el modelo de simulación, permiten realizar mediciones precisas y fieles de la distribución estadística de la estructura del universo a gran escala. La precisión depende de la astrometría en la observación telescópica, mientras que en las simulaciones depende de la apreciación del modelo de simulación, es decir, de la calidad de la representación dada por las capacidades del clúster y del programa. La fidelidad se corresponde con el tamaño del espacio muestral considerado en las observaciones y en las simulaciones. Así también, se corresponde con las diversas técnicas de modelización, métodos de control y supuestos tomados bajo consideración, los cuales son de naturaleza distinta en cada contexto.

Conclusiones

Morrison concluye que los modelos de simulación no son entidades simbólicas abstractas. La manipulación e intervención sobre los mismos es una actividad que va más allá de un mero cálculo. Sin embargo, se ha visto que este último está presente y forma parte de cualquier proceso de medición, es decir, tanto en las observaciones tradicionales como en las simulaciones. Tomando una posición medianamente escéptica, con respecto al punto de vista de la autora, el presente trabajo pretende concluir lo siguiente. aunque exista, en la actualidad, una fuerte

tendencia a situar a la medición en el mismo plano epistémico con respecto a la observación y a la simulación, se pierden ciertos matices sutiles de relevancia epistemológica y ontológica. Estos últimos, subyacen en la articulación de supuestos teóricos y aspectos prácticos inherentes a la medición clásica. Este es uno de los sentidos en los cuales se define la metrología como la ciencia y el “arte” de la medición.

Finalmente, se ha intentado mostrar que los modelos pueden ser objetos de estudios de simulación, o bien, pueden funcionar como instrumentos para medir los resultados producidos por ellos mismos. A diferencia de esta función, la medición tradicional involucra una práctica que conecta, de alguna forma causal, el instrumento o aparato de medición con el objeto físico bajo investigación. Por un lado, una medición clásica fundamental permite cuantificar una cierta propiedad, atributo observable o magnitud física de un objeto determinado, mientras que en el ámbito de las simulaciones, se pierde esta dimensión ontológica. Por otro lado, bajo algún criterio de causalidad, puede sugerirse, eventualmente, una experimentación fuerte o estricta. Sin embargo, es sabido que en la astronomía este tipo de experimentos materiales no son viables. Esta problemática contrasta con la discusión filosófica, la cual no es un tópico de este trabajo, acerca de la “materialidad” de las simulaciones computacionales. Más allá de si esta materialidad es situada dentro o fuera del sistema de simulación, la distinción “intuitiva” propuesta por Morrison entre precisión y fidelidad y entre medición fundamental y derivada, permite diferenciar a su vez entre medición y cálculo. Con lo cual, en el presente trabajo se concluye que tal “intuición” hace posible incluir a las simulaciones computacionales como auxiliares dentro de la práctica observacional astronómica.

Notas

- 1 Morrison, M. (2009) “Models, measurement and computer simulation. the changing face of experimentation” *Philosophical Studies* Volume 143, pp. 33-57 Netherlands. Springer.
- 2 Paz, D. J.; Lambas, D. G., Padilla, N., Merchán, M. (2006) “Shapes of clusters and groups of galaxies. Comparison of models predictions with observations” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Volume 366, Issue 4, pp. 1503-1510
- 3 Abazajian, N. K., et al. (2009) “The Seventh Data Release of The Sloan Digital Sky Survey” *The Astrophysical Journal Supplement*. Volume 182, Issue 2, pp. 543-558.