



THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia

ISSN: 0495-4548

ISSN: 2171-679X

theoria@ehu.es

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea  
España

Giri, Leandro; Miguel, Hernán  
El modelo de simulación como generador de explicaciones causales  
THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos  
de la Ciencia, vol. 33, núm. 1, 2018, pp. 111-128  
Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea  
España

DOI: <https://doi.org/0.1387/theoria.17826>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=339755051007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEH  
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc  
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso  
abierto

# THEORIA

Vol. 33/1 • January 2018

ESTABLISHED IN 1952 BY MIGUEL SÁNCHEZ-MAZAS  
Second Series

An International Journal for Theory, History and Foundations of Science



Ὁ Θεὸς ἀριθμεῖται

CALIJ

Centro de Análisis, Lógica e Informática Jurídica (CALIJ)



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

<http://www.ehu.eus/theoria>

# THEORIA

REVISTA DE TEORÍA, HISTORIA Y FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA

AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR THEORY, HISTORY AND FOUNDATIONS OF SCIENCE

ESTABLISHED in 1952 by MIGUEL SÁNCHEZ-MAZAS Second Series

## EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief: Andoni IBARRA (University of the Basque Country, UPV/EHU)

Editors: Cristina CORREDOR (Universidad de Valladolid), Antonio DIÉGUEZ (Universidad de Málaga)

Logic and philosophy of logic and mathematics: José Luis ZALABARDO (University College London)

Philosophy of language: Genoveva MARTÍ (ICREA & Universitat de Barcelona)

Philosophy of mind and philosophy of cognitive science: Agustín VICENTE (Ikerbasque & UPV/EHU)

Philosophy of science: José DíEZ (Universitat de Barcelona)

History of science: María Jesús SANTESMASES (CSIC)

Science and Technology Studies: Miguel GARCÍA-SANCHO (University of Edinburgh)

Managing Editor: Mario SANTOS-SOUSA (University College London)

## ADVISORY BOARD

Juan José ACERO (Universidad de Granada), Ignazio ANGELELLI (University of Texas at Austin), Manuel ATIENZA (Universitat d'Alacant), Salvador BARBERÀ (Universitat Autònoma de Barcelona), Gustavo BUENO † (Universidad de Oviedo), Nancy CARTWRIGHT (Durham University), Newton C.A. da COSTA (Universidade de São Paulo), Joseph DAUBEN (City University of New York), Elías DíAZ (Universidad Autónoma de Madrid), Javier ECHEVERRÍA (Ikerbasque & UPV/EHU), Josep Maria FONT (Universitat de Barcelona), Manuel GARCÍA-CARPINTERO (Universitat de Barcelona), Manuel GARRIDO † (Universidad Complutense de Madrid), Jaakko HINTIKKA (Boston University), Philip KITCHER (Columbia University), Bruno LATOUR (SCIENCES PO, PARIS), Larry LAUDAN (UNAM), Javier de LORENZO (Universidad de Valladolid), Thomas MORMANN (UPV/EHU), C. Ulises MOULINES (Ludwig-Maxilians-Universität München), Carlos MOYA (Universitat de València), Javier MUGUERZA (UNED), León OLIVE (UNAM), Carlos PARÍS † (Universidad Autónoma de Madrid), Carlos SOLÍS (UNED), Roberto TORRETTI (Universidad de Puerto Rico), Enric TRILLAS (Universidad Politécnica de Madrid), Nicanor URSUA (UPV/EHU), Bas C. van FRAASSEN (San Francisco State University)

## EDITORIAL OFFICE

Editorial manager: María Luisa CUTANDA (CALIJ, Donostia-San Sebastián, Spain)

Editorial assistant: Garazi MONTUSCHI (UPV/EHU)

Mailing address: CALIJ-THEORIA, Elhuyar plaza 2, 20018, Donostia-San Sebastián, Spain

Tel.: (+34) 943 017 447. Fax: (+34) 943 015 990. E-mail: editor.theoria@ehu.eus

THEORIA is a four-monthly journal (issues in January, May and September). The contents of this journal are covered, among others, by the following abstracting and indexing services: Arts & Humanities Citation Index®, ISI Alerting Services, Current Contents® / Arts & Humanities, Bulletin Signalétique 519, DICE, ICYT, ISOC and RESH of the Spanish research center CSIC, Mathematical Reviews, Current Mathematical Publications, MathSci, Philosopher's Index, Repertoire bibliographique de la Philosophie, and SCOPUS.

# THEORIA

AN INTERNATIONAL JOURNAL FOR THEORY, HISTORY AND FOUNDATIONS OF SCIENCE

## CONTENTS

Volume 33/1, January 2018, pp. 1-156

ISSN 0495-4548

### ARTICLES

- Javier GONZÁLEZ DE PRADO SALAS**  
*Still Unsuccessful: The Unsolved Problems of Success Semantics* 5
- Manuel PÉREZ OTERO**  
*El dominio de lo mental en la filosofía de Williamson* 23
- Josefa TORIBIO**  
*Implicit Bias: From Social Structure to Representational Format* 41
- Mariela DESTÉFANO y Fernanda VELÁZQUEZ COCCIA**  
*Teorías de doble proceso: ¿una arquitectura de procesos múltiples?* 61
- Cord FRIEBE**  
*Metaphysics of laws and ontology of time* 77
- Gabriel TÂRZIU**  
*Can we have mathematical understanding of physical phenomena?* 91
- Leandro GIRI y Hernán MIGUEL**  
*El modelo de simulación como generador de explicaciones causales* 111
- Emilio CÁCERES VÁZQUEZ y Cristian SABORIDO**  
*¿Realmente mató la bacteria al coronel? Perspectiva sistémica, causación internivélica e intervalos de cuasi-descomponibilidad en las explicaciones mecanísticas* 129

### BOOK REVIEWS

- Juan PIMENTEL. 2017. *The Rhinoceros and the Megatherium. An Essay in Natural History* (Irina PODGORNÝ) 151

- SUMMARY** 155

# El modelo de simulación como generador de explicaciones causales

*(The Simulation Model as a Causal Explanation Generator)*

Leandro GIRI y Hernán MIGUEL

Recibido: 07/05/2017

Versión final: 02/10/2017

BIBLID 0495-4548(2018)33:1p.111-128

DOI: 10.1387/theoria.17826

**RESUMEN:** Aquí profundizamos la tesis de que un modelo de simulación permite crear conocimiento en forma de explicaciones causales sostenida por Paul Weirich. Sostenemos la validez de exportar resultados del modelo al mundo modelado en virtud de la similitud entre modelo y mundo, analizable en términos de identidad parcial de estructura para eliminar la similitud superficial que repita los resultados empíricos al ajustar datos por calibración. La estructura de relaciones rescatadas del mundo resulta crítica al estudiar la mencionada similitud, como así también ciertas propiedades que condicionan el tipo de relaciones entre los elementos del modelo que representan entidades del mundo.

**Palabras clave:** Explicaciones causales, simulaciones, validación de simulaciones.

**ABSTRACT:** Here we enrich Paul Weirich's thesis holding that a simulation model can create knowledge in the form of causal explanations. We sustain the validity of exporting results from the model to the modeled world in virtue of the similarity between model and world, which is analyzable in terms of partial identity of structure, eliminating the superficial similarity that repeats empirical results by adjusting data *via* calibration. The structure of relations rescues from the world critical results to analyze such similarity, as so certain properties which condition the kind of relations held between the elements of the model representing entities of the world.

**Keywords:** Causal explanations, simulations, validation of simulations.

## 1. Introducción

En el presente trabajo enriqueceremos la posición filosófica de Paul Weirich acerca de los modelos explicativos científicos y las simulaciones, por considerar que, si bien resulta un aporte novedoso y relevante a las discusiones actuales en el área, se requiere precisar algunas cuestiones conceptuales de su marco a fin de lograr dicho objetivo.

La obra de Weirich (2011; 2013) revela un enorme interés en las potencialidades de las simulaciones para aportar conocimiento científico novedoso acerca de fenómenos del mundo, especialmente (pero no únicamente) en forma de explicaciones científicas. Para ello, las simulaciones deben poseer una cierta relación con el fenómeno, con el modelo del fenómeno y con una teoría acerca del fenómeno, relación que precisaremos a lo largo de este



artículo. Podemos adelantar que para Weirich la relación entre la teoría y la simulación no es de subsunción, es decir, no (siempre) se sigue linealmente de la teoría, sino que (muchas veces) posee elementos novedosos que le harían tener, como propone Eric Winsberg (2010, 44), «vida propia». Esto pone a Weirich en la línea de Winsberg y de Margaret Morrison (2015) y lo aleja de posiciones como la sostenida por Frigg y Reiss (2009), quienes aseveran que no hay nada epistemológicamente novedoso en las simulaciones, no debiendo considerarse una «nueva metodología» sino tan solo una nueva manifestación de metodologías antiguas (como la experimentación, el modelado y la experimentación mental). Coincidimos con Weirich en dichas consideraciones sobre la importancia de las simulaciones y la necesidad de una epistemología específica sobre dicha práctica.

La clase de simulaciones que Weirich tiene en mente es la de aquellas que representan fenómenos del mundo físico. Estas buscan explicar un fenómeno identificando los factores relevantes para su ocurrencia, cosa que se logrará si la simulación es capaz de reproducir el fenómeno con los elementos programados en su estructura y parametrizados en sus condiciones iniciales. Esto deja fuera del alcance de su obra otros tipos de simulaciones como aquellas que Michael Weisberg (2013) denomina «simulaciones sin *target*», que emulan sistemas imaginarios. Las simulaciones en las que Weirich se enfoca actuarían como «mediadores» en uno de los sentidos propuestos por Morrison (p. ej. 2015). Para esta autora, a veces los científicos modelan sistemas físicos para ver qué leyes o conceptos de una teoría pueden aplicarse a fin de obtener explicaciones o predicciones en el sistema, mientras otras veces, se parte desde las teorías a fin de aplicar leyes altamente idealizadas o abstractas a un modelo que representa un sistema. Weirich se centra en modelos que cumplen la primera de las funciones mediadoras, donde el interés epistémico radica en el sistema del mundo modelado.

Weirich sostiene la tesis de que un modelo es un mundo posible afirmando «le permito ser un mundo pequeño, que incluya sólo las características bajo investigación» (2011, 156, trad. propia). Por otro lado, una simulación, para este autor, es un tipo abstracto de entidad que puede tener muchas instancias a las que denominará «simulaciones concretas». Cada corrida de simulación generará un «sistema natural» (mundo posible) que puede compartir las propiedades físicas del sistema que imita. La simulación «descansaría» sobre un modelo, y Weirich se ocupa de aquellos modelos que tienen intencionalidad explicativa, la cual sería lograda al imitar un fenómeno del mundo *target*.

La relación que hay entre modelo y simulación, para este autor, es que esta última «representa» al modelo que subyace en él al compartir sus propiedades estructurales, y este comparte a su vez (algunas) características estructurales con el mundo *target*. Si se comparten dichas características estructurales, la simulación, a pesar de tener (algunos) presupuestos falsos, proveerá conocimiento nuevo en forma de explicaciones «parciales». Profundizaremos luego en la naturaleza de la relación. Baste por ahora señalar la adherencia de Weirich a posiciones representacionistas de los modelos (p. ej. Weisberg (2013), quien afirma que las simulaciones son una clase de modelos que representan en función de su estructura interna), y se aleja de posiciones antirepresentacionistas (p. ej. Tarja Knuuttila (2005), quien propone que los modelos son solamente artefactos heurísticos, sin necesidad de que representen nada del mundo físico).

Utilizaremos aquí «mundo *target*» para referirnos al mundo que se pretende modelar. Esto evita utilizar «mundo real» lo que llevaría a discusiones sobre el conocimiento que tenemos de este mundo y su ontología. Esto nos distancia de la posición realista de Weirich.

Esta terminología es habitual al referirnos también a escenarios contrafactuales,<sup>1</sup> lo cual es muy pertinente dado que cada corrida computacional del modelo es un ensayo de posibles evoluciones del sistema y en tanto son escenarios posibles, todos menos uno jamás serán instanciados en el mundo efectivo.

Un mundo posible está dado por una proposición maximalmente consistente. Es decir, toda información que quiera agregarse o bien es redundante o bien es contradictoria con la información previa.

Equiparar el modelo virtual a un «mundo posible», noción trabajada principalmente en la obra de Saul Kripke (p. ej. 1959) y de David Lewis (p. ej. 1986) entre otros, ha resultado fructífero en muchos aspectos y aquí aprovecharemos a explorar nuevas aristas de esta aproximación. Esta representa el punto más relevante y novedoso del enfoque de Weirich respecto a otros en el área, y consideramos en virtud del uso de esta noción que vale la pena abordar sus ideas, aunque desde una perspectiva de complementariedad crítica. Este enfoque permite arrojar luz sobre distintas características del funcionamiento de los modelos y simulaciones en la generación de conocimiento científico, aunque Frigg y Reiss (2009) afirman que es aplicable a otras prácticas, como por ejemplo la experimentación en laboratorio.

Partridge *et al.* (2013) menciona lo ventajoso del enfoque: nos da una consistencia semántica para hablar de los entes del mundo posible y simplifica el marco ontológico en el modelado, pues se abogará por una ontología que imite lo mejor posible al mundo *target*. Luego veremos que no siempre un modelo fértil para la comprensión de los fenómenos del mundo *target* cumple con la condición de imitar su ontología. Parece bastar con rescatar correlaciones o mecanismos que echen luz sobre los fenómenos por medio de analogías o metáforas a pesar de no reproducir la ontología ni siquiera en forma aproximada ni en sus elementos ni, estrictamente, en sus relaciones.

En Weirich (2013), se retoma esta idea para profundizar la tesis de que los modelos pueden proveer una forma particular de explicación científica, a saber, «explicaciones parciales». Por supuesto, no todas ellas. Por ejemplo, hay simulaciones que no buscan explicar sino predecir, como ocurre con algunos modelos climáticos. Nos referiremos sólo a las simulaciones con intencionalidad explicativa.

El autor plantea utilizar la noción de mundo posible, y luego afirma, siguiendo a Sugden (2002) que:

El mundo posible describe para cada objeto del mundo sus propiedades y relaciones con otros objetos en el mundo. Esta caracterización coincide con muchos modelos [...] Si un modelo deja algunos eventos indeterminados, no será un mundo posible sino una clase de mundos. (Weirich 2013, 107, trad. propia)

A continuación, asevera que los eventos del mundo posible descriptos en el modelo dependen de los principios de ese mundo. A su vez, los principios del modelo explican lo que ocurre en el modelo y eso que ocurre depende también de las condiciones iniciales. Dice Weirich que el modelo tomado como un mundo posible no ofrece en sí mismo una explicación: no hay *explanandum* ni *explanans* en sí mismo. Pero típicamente sí señala el fenómeno a ser explicado en el mundo *target*, especificando el fenómeno objetivo.

---

<sup>1</sup> Véase Lewis (1973).

La explicación del fenómeno en el modelo, mientras que explica totalmente las instancias del fenómeno en *el modelo*, sólo será *parte* de la explicación en el mundo *target*.

Dado que los modelos se construyen a través de idealizaciones, el modelo no es igual al mundo *target*. Las leyes en el modelo no son las leyes generales que gobiernan el mundo *target* sino leyes simplificadas, pero así y todo pueden detectar algunos de los factores relevantes y por tal motivo las explicaciones en el modelo son explicaciones parciales del fenómeno del mundo *target*. A medida que se vayan agregando detalles al modelo, las explicaciones generadas por la simulación derivada de él serán de grano más fino, debido al proceso de desidealización. Estas explicaciones serán más parecidas a la total (aunque nunca dejarán de ser parciales), y los mundos posibles de la simulación serán más parecidos al mundo *target* en sus aspectos relevantes.

Según Weirich las leyes en los modelos se derivan de leyes del mundo *target*, aunque con restricciones específicas, y esa relación hace que las leyes que se usan para explicar en el modelo expliquen al menos parcialmente los fenómenos del mundo *target*. Cabe agregar aquí que lo que se toma como leyes del mundo *target* no son otras que las que figuran como conjeturas en nuestras mejores teorías, por lo cual las leyes que se incluyan en los modelos heredan este estatus conjetural, adicionalmente a las restricciones e idealizaciones que se le apliquen para ser incluidas en el modelo (p. ej. artilugios matemáticos para mejorar la computabilidad o disminución de las cifras significativas a tenor de la precisión requerida para los resultados).

Weirich (2013) se enfoca en las explicaciones causales. La causa es un tipo de razón por la que ocurre un fenómeno determinado (aunque no toda razón es una causa). Y prosigue «una explicación causal parcial de un evento tiene en el *explanans* algunas de las causas del evento» (2013, 110, trad. propia).

## 2. El problema del recorte del mundo: relevancia e idealizaciones

Hay varios puntos en los cuales estamos de acuerdo con Weirich. Creemos acertado el uso de la semántica de mundos posibles para las simulaciones y la caracterización de su poder explicativo. También creemos que las explicaciones causales son la clave en este tipo de modelos de simulación.

Pensamos a su vez que es correcta la afirmación de que todo modelo que pueda ser interpretado como no totalmente especificado representa una clase de mundos: cada parámetro modificado, aunque se trate de una variable a la cual el modelo es poco sensible, representa un mundo posible diferente. Todo modelo que no tiene explícitamente especificado algún aspecto permite ser tratado como un conjunto no-maximalmente descripto y por lo tanto deja abierta la interpretación de representar un conjunto de mundos posibles. Esto permite tratar a los modelos como aproximaciones sucesivas al mundo *target* en la medida en que se agregan especificaciones de forma explícita y no por una cláusula de completitud.

Weirich, al reconocer que un modelo que no tiene totalmente especificados ciertos eventos constituye una clase de mundos posibles, y no un solo mundo posible, pasa por alto que hay otro nivel de inespecificidad referida a las correlaciones y no a los eventos.

Un modelo podría no especificar los eventos porque no se han fijado los parámetros que determinan las condiciones iniciales. En este sentido sería una clase de mundos



posibles, pero todo mundo posible de esa clase tiene las leyes o correlaciones que hemos decidido idealizar del mundo *target*. Siguiendo a Frigg y Hartmann (2017) habría dos formas de idealización: la abstracción (o idealización aristotélica) consiste en la selección y aislamiento en el modelo de variables del *target* que se consideran relevantes (y el consiguiente abandono de las demás), mientras que la idealización galileana es la distorsión deliberada de alguna variable (como en los planos sin fricción de la mecánica clásica) con un fin determinado, en general la simplificación del tratamiento matemático del modelo.

Tenemos entonces un conjunto de correlaciones que pretende imitar al máximo posible (dentro de las restricciones impuestas por las abstracciones e idealizaciones galileanas y por los artilugios para su computabilidad) a las correlaciones del mundo *target*. Aun sin especificar las condiciones iniciales, no habría más correlaciones que agregar. Este modelo corresponde a una clase de mundos con el mismo paquete de leyes.

Al especificar maximalmente las condiciones iniciales en esa clase, restringimos la clase de mundos posibles y obtendremos un subconjunto.

Ahora bien, si el paquete de leyes incluye alguna correlación estadística, aun cuando se especifiquen maximalmente las condiciones iniciales, no se habrá determinado uno y sólo un mundo posible: simplemente se habrá acotado la clase dado que cada instanciación de una variable estadística fija un mundo posible diferente. Así, si un modelo representa la tirada de un dado y bajo las mismas condiciones iniciales puede evolucionar para dar por resultado un 3 o un 6, esas dos evoluciones del modelo corresponden a dos mundos posibles diferentes en el sentido estricto de los eventos, aunque no en el sentido de las correlaciones. Esta distinción no debe llevarnos a pensar que estamos modelando mundos *target* diferentes.

En cuanto a la construcción del modelo, aquellos con menor cantidad de idealizaciones serán mundos posibles más cercanos al mundo *target*, aunque nunca podrán ser exactamente iguales a este. No hay modelo sin recorte del mundo.

También advertimos que la afirmación de que las explicaciones causales obtenidas a través de las simulaciones son parciales resulta trivial: todas las explicaciones causales son parciales, puesto que hay multiplicidad de causas legítimas que no son capturadas en los modelos. Muchas son ciertamente poco interesantes. Parece cierto que una de las causas de la muerte de Kennedy haya sido que estuviera vivo e incluso su propio nacimiento operaría como una condición necesaria y por lo tanto relevante, pero nadie la incluiría dentro de las causas relevantes en una investigación que modela al mundo *target*, a pesar de que es verdadero que «de no haber nacido Kennedy, su asesinato jamás habría tenido lugar». Nótese que por un lado las condiciones relevantes podrían no ser tratadas como causas, pero en ese caso podría argumentarse que la división entre causas y condiciones no es clara y depende de criterios contextuales. Podría evitarse la aparición de estas presuntas causas anti-intuitivas apelando a la estrategia de mencionar que el «nacimiento de Kennedy» no es un evento separado del «asesinato de Kennedy» ya que la noción de asesinato asume que la víctima estaba viva.

De cualquier modo queda planteada la dificultad de la selección de causas como factores relevantes o causalmente conectados. Otro nivel de la discusión apunta a la dificultad asociada a que son muchos los factores conectados con los efectos pero que no son considerados causas. Hasta ahora la noción de causa podría tomarse como aquello que «de no haber

ocurrido, el efecto no habría tenido lugar»<sup>2</sup> o bien aquello que está conectado con el hecho a explicar mediante correlaciones o mecanismos. Tomemos en cambio el criterio de que para que un evento sea considerado como causa deberíamos encontrar que, de haber ocurrido de modo diferente, entonces el efecto habría tenido lugar de modo diferente.<sup>3</sup> Esto es, que encontremos un patrón de variación entre los modos de ocurrir de un evento y el hecho a explicar. Este criterio no supera al anterior porque ahora cuenta como causa todo aquello que modifique los modos en que tuvo lugar el efecto, aun cuando en vez de producirlo lo atenúa, lo retrasa o simplemente modifica aspectos del efecto. Un ejemplo de ello son los cuidados intensivos de un paciente terminal, que modifican notablemente los modos en que finalmente tiene lugar la muerte, pero no deberían contar como causa de la misma. Si nos concentramos en cambio en teorías que hacen descansar la correlación causal en mecanismos, intercambio de cantidades físicas o transporte de señales,<sup>4</sup> o bien en correlaciones entre la ocurrencia de la causa y el aumento de la probabilidad de ocurrencia del efecto,<sup>5</sup> suelen encontrarse también casos de asignación de roles causales espurios por la sola coincidencia espacio-temporal de episodios, varios de ellos transportando señales, información, cantidades físicas, etc., pero irrelevantes para los aspectos que quieren modelarse en la ocurrencia del efecto.

Sea cual sea la teoría causal que se asuma, deberemos enfrentar varios tipos de recorte de factores causalmente relevantes para explicar el fenómeno. Reconocer este problema no hace que los modelos sean deficientes. Más bien hace que reconozcamos la incompletitud de las explicaciones de un fenómeno del mundo *target* al señalar dificultades inherentes al acceso epistémico al mundo *target*.

Con estas consideraciones nos apartamos drásticamente de la noción de explicación señalada por Weirich, según la cual, todo evento *relevante* conectado en el cono de pasado del fenómeno a explicar forma parte de su explicación completa, ya que pasa por alto conexiones como las señaladas que no operan como causas a pesar de estar conectadas por leyes conocidas. Su forma de conceptualizar una explicación completa funciona más bien como un *desideratum* de conocimiento que no distingue entre factores productores, retardadores o aceleradores y factores conectados mediante aspectos no relevantes del suceso, aun cuando son relevantes para los modos en que tuvo lugar el fenómeno.

Dado que estas advertencias no se dirigen al diseño del modelo sino a la noción de explicación, también los experimentos reales son alcanzados por estas preocupaciones, aun cuando los experimentos tienen conexión causal con los detectores del mundo *target* y los modelos solo están llamados a arrojar resultados que deben ser interpretados como correspondientes a ciertos medidores.

Cuando decimos que un modelo puede explicar un fenómeno, queremos decir que el modelo explica en la medida que esos resultados surjan al fijarse las condiciones iniciales y las correlaciones incluidas: el fenómeno debe ser reproducido en el *output* del modelo. Dicho esto, exigirle a un modelo que sea explicativo equivale a exigirle las mismas condiciones que a los esquemas nomológico-deductivos o estadístico-inductivos propuestos por Hempel (1965). Notamos también que las simulaciones tienen un valor epistémico adicional al

<sup>2</sup> Se trata de la primera versión de la teoría contrafáctica de la causación de Lewis (1973).

<sup>3</sup> Modificación de la teoría contrafáctica por la teoría de la influencia causal. Véase Lewis (2004).

<sup>4</sup> Véase Dowe (2000) para una reseña de este tipo de teorías físicas de la causación.

<sup>5</sup> Véase Mellor (1995).

permitir manipular las condiciones iniciales y correlaciones, que aporta una ventaja frente al valor de manipulación experimental empírico. En un laboratorio podemos variar sistemáticamente las condiciones iniciales para obtener un mayor convencimiento de que ciertas condiciones son capaces de hacer aparecer un resultado particular, y ese proceso muestra que son esas y no sus vecinas las condiciones que lo causan. De este modo la manipulación experimental provee un apoyo contrafáctico a las explicaciones nomológico-deductivas. Estas condiciones iniciales son parte de la explicación del fenómeno porque al variarlas no se obtiene el mismo resultado. Esta manipulación, en los experimentos físicos, no puede realizarse con las correlaciones. Los modelos suman este apoyo adicional al esquema explicativo, permitiendo la manipulación tanto de condiciones como de correlaciones, mostrando que si las condiciones iniciales no hubiesen sido esas dentro de un entorno, el resultado no habría sido el mismo. Todo esto aporta un apoyo adicional, pero no constituye la base explicativa, ni del modelo nomológico Hempeliano ni de los modelos y simulaciones.

En resumen, lo dicho no quita importancia epistemológica a las simulaciones, ya que no es privativo de ellas presentar limitaciones. Por el contrario esto ocurre con todo modelo y toda teoría. Siempre dan cuenta de un recorte simplificado del mundo, y por ende algo queda siempre afuera. Pero nuestra forma de conocer los fenómenos, aunque parcial, resulta más que suficiente para avanzar en ciencia y tecnología, y cada vez nos permite parcialidades más complejas y de mayor ajuste empírico. La discusión de si podremos en algún momento lograr explicaciones totales parece no llevar a ningún lado ya que el conjunto de causas puede ser infinito<sup>6</sup> al igual que los episodios irrelevantes en el pasado del hecho a explicar.

En definitiva, estamos afirmando que toda explicación es, al menos en ciencias empíricas, parcial. Por el contrario, explicar que un teorema es tal debido a que se deduce de un conjunto de axiomas en un sistema formal, sí constituiría una explicación completa dentro del sistema axiomático, pero no nos estamos ocupando de esta clase de ciencias.

Ontológicamente ningún modelo da cuenta del mundo *target* por completo. Hay un recorte y una cláusula de completitud que engloba variables que creemos irrelevantes y por ello no las incluimos explícitamente en el modelo. Pero no sabemos si de hecho alguna variable de interés ha escapado de nuestro análisis. En este aspecto podría afirmarse, como lo hace Ronald Giere (2009), que los experimentos físicos poseen un estatus epistemológico superior al de las simulaciones, dado que al aplicarse en el mundo *target*, hay interacción causal con dicho mundo. Esto llevaría a explicaciones más completas. Sin embargo, Morrison (2015) plantea que los experimentos también se construyen mediante modelos. Esto hace que aparezcan presupuestos e idealizaciones a pesar de que los experimentos, a diferencia de las simulaciones computacionales, posean interacción causal con los detectores que muestran los *outputs* del experimento. En esta misma línea, Weirich (2013) asevera que los modelos explicativos y los experimentos físicos funcionan en forma similar, ya que mientras en el laboratorio se controlan distintas variables para ver cómo se comportan las demás, en el modelo son las idealizaciones las que funcionan como «control», de modo que los científicos puedan estudiar cómo se comportan los factores no-idealizados. Winsberg (2010), si bien defiende el poder epistémico de las simulaciones, evita colocar a las mismas «a la par» de los experimentos, en una actitud más bien conservadora. Nosotros creemos que, dada la

---

<sup>6</sup> Nótese que el nivel de especificidad y detalle esperado en la explicación fija el rango de relevancia de cuáles causas es indispensable considerar y cuáles pueden quedar en segundo plano.

importancia de ambas prácticas en la ciencia actual, no parece útil intentar determinar si una posee un mayor estatus epistémico que la otra, aunque, claro está, lo perceptible sensorialmente suele ser innegablemente elocuente.

Finalmente, queremos notar cómo el análisis propuesto expone una heurística de trabajo con modelos de simulación para encontrar distintas explicaciones causales. Si cada corrida de simulación representa un mundo posible,<sup>7</sup> los fenómenos emergentes serán explicados causalmente por las distintas condiciones iniciales que son fijadas por el usuario del simulador y por la dinámica de esa clase de mundos posibles, subyacente en los atributos y correlaciones fijadas en el código. Variando las condiciones iniciales poco a poco se generarán más mundos posibles.

### 3. *La validación del modelo*

Ahora bien, la extrapolación de las explicaciones desde el modelo al mundo *target* es un asunto diferente al problema de la construcción del modelo y depende de su validación. Es decir, será válido trasladar una explicación desde los mundos posibles al mundo *target* en la medida que se considere que la simulación es válida. Decir que se ha validado una simulación es lo que permite exportar la explicación hacia el mundo *target* emulado. Finalmente la validez del modelo viene dada por la aceptación en la comunidad científica.

Ahora bien, Weirich si bien reconoce la existencia de variables poco relevantes no aporta una manera de distinguir dichas variables de las relevantes para la explicación. En Weirich (2011) plantea como condición para efectuar explicaciones parciales que el modelo (y por ende la simulación) sean isomorfos con el sistema *target*:

Una explicación parcial surge de un tipo de isomorfismo y no sólo similitud [como propone Giere (1988)], entre un modelo y un sistema natural. Un modelo explicativo ofrece una explicación parcial porque algunas de sus características se corresponden uno-a-uno a algunas características del sistema natural y comparten algunas características estructurales con aquellas características del sistema natural. Suponga que un sistema natural involucra un fenómeno *a* y dos factores explicativos *b* y *c*, y el modelo controla *c* para investigar la influencia de *b* en *a*. Suponga que una ley para el modelo de un factor sostiene que *Rab*, y una ley para el sistema natural de dos factores sostiene que *Sabc*. El tipo requerido de isomorfismo se sostiene si la primera ley es una instancia de la segunda ley. (Weirich, 2011, 163, trad. propia).

Weirich toma la condición de isomorfismo de van Fraassen (1980), quien la propone como condición de adecuación empírica. Ambos utilizan esta propiedad como condición necesaria y suficiente para que un modelo represente a un *target*. Weirich (2013), de hecho, es explícito al afirmar que en su concepción la explicación no implica componentes subjetivos ya que se sostiene en aquello que el modelo y el *target* tienen en común en las representaciones exitosas. En el lenguaje de Suárez (2003), se trata de una teoría «naturalizada» de la representación científica, pues no precisa de ningún componente pragmático.

Si bien Weirich no está tratando de proveer una teoría sustantiva de la representación científica (nunca afirma que la representación científica se agote en el tipo de isomorfismo que defiende como condición para poder proveer explicaciones parciales válidas), cabe se-

<sup>7</sup> Salvo en los casos indeterministas en los que corresponden a clases de mundos.

ñalar que su posición sigue siendo problemática para definir una metodología para validar modelos y simulaciones.

Desde Goodman (1976) hasta Suárez (1999) y (2003), por ejemplo, se ha mostrado la irrealizabilidad de la representación naturalizada: el componente pragmático resulta inescindible de los procesos de representación. Esto no significa que dicho componente sea el único necesario y que, con buena voluntad, cualquier cosa sea capaz de representar a cualquier cosa, como en Callender y Cohen (2006), al menos en ciencias. Una buena simulación, capaz de generar conocimiento sobre el sistema que representa, debe compartir algunas características relevantes con dicho sistema. Sin estas, las buenas intenciones de los agentes cognoscitivos no alcanzarán para que se obtenga conocimiento válido alguno. Pero son dichos agentes quienes decidirán en cada caso cuáles serán las variables relevantes, y también serán ellos quienes considerarán si las mismas han sido capturadas con el suficiente grado de precisión según el objetivo de cada modelo.

Resulta problemático además que Weirich pretenda que la condición de isomorfismo sea con el sistema natural, puesto que implica la posibilidad de conocer *a priori* la estructura de dicho sistema, cosa que lo pone en una posición metafísica realista epistemológica difícil de sostener. Una posición más cautelosa como la que aquí sostendremos es que el morfismo de estructuras será entre el modelo de simulación y nuestras mejores teorías sobre el mundo *target*, o el modelo de datos, definido a la manera de Patrick Suppes (1969), en caso de que tal teoría no existiese. Este modelo de datos está basado en preconcepciones teóricas de los modeladores, y podría constituir nuestra mejor descripción del mundo *target* al no contar con una teoría específica acerca de los fenómenos de interés.

En todo caso, está claro que no daremos lugar a la aceptación de un modelo que haya sido ajustado para dar como resultado los eventos o fenómenos del mundo *target*, si no cumple con alguna forma de morfismo estructural con el modelo de datos del *target*. Esto es, rechazamos la idea de validación solamente por correspondencia de eventos, que consiste en afirmar que un modelo es válido si y solo si, los *outputs* del mismo se corresponden con lo medido en el mundo *target*. Una validación de este tipo puede lograrse con cualquier tipo de correlación que asegure los resultados numéricos a pesar de no coincidir los mecanismos. Un ejemplo consiste en modelar la caída de los cuerpos en la atmósfera mediante una física que otorgue mayor aceleración a los cuerpos más pesados y no con aceleración de la gravedad constante y fricción con el aire. Utilizando una teoría como la física aristotélica podríamos dar cuenta de los mismos *outputs* sin que el modelo reproduzca los mecanismos causales del mundo *target*.

El nivel conjetural de las correlaciones incluidas en el modelo es el mismo nivel conjetural que tienen las mejores teorías aceptadas hasta el momento. Dicho de otro modo, el modelo no puede ver correlaciones en el mundo si no es a través de las teorías, por lo cual no son «hechos empíricos» sino que siguen siendo conjeturas. Es por este motivo que el *explanandum* no está garantizado *a priori* de manera empíricamente vacua, sino que está garantizado del mismo modo en que lo está en el modelo de explicación hempeliano. En este sentido, el *explanandum* de un modelo nomológico-deductivo contiene información que ya está presente en las premisas y esto no constituye circularidad en la medida en que conocer las premisas y las correlaciones no es conocer todas las proposiciones que se deducen de ellas. Para un sistema de inteligencia artificial la clausura deductiva garantiza que si conoce las premisas, entonces conoce todas sus conclusiones pero esto no se sigue en el caso de un agente cognitivo biológico. Sin embargo, sí ocurriría una inaceptable circularidad si durante

el proceso de validación se utilizase la misma base empírica utilizada para la calibración de parámetros en el diseño del modelo.

Basar la validación en salvar los fenómenos es renunciar a la búsqueda de la trama causal subyacente en el fenómeno.

Si en cambio se pone de relieve el intento de rescatar en el modelo las correlaciones y mecanismos relevados con nuestras mejores herramientas teóricas del mundo *target* y luego se ajustan las condiciones iniciales con valores tan cercanos como sea posible a los del mundo *target* para cotejar la coincidencia de *outputs*, entonces la pretendida validez del modelo está sustentada por haber realizado buenas conjeturas en su construcción.

Si bien coincidimos en la necesidad de algún tipo de morfismo de estructuras, consideramos necesario un refinamiento de la posición a fin de proveer una base para la validación de simulaciones menos problemática, especialmente incluyendo el componente pragmático.

#### 4. *Identidad parcial de estructura como base para la validación*

Giere (1988; 1999) considera que la representación requiere de una relación de similitud entre modelo y *target*, siendo dos entidades similares si y sólo si comparten un subconjunto de sus propiedades. Vimos en la sección anterior que Weirich considera que esta relación no es suficiente para considerar que las explicaciones parciales puedan exportarse de modelo a *target*, y defiende entonces el isomorfismo de van Fraassen (1980). Pero en Suárez (1999; 2003) se ataca categóricamente a ambos criterios de representación de manera que no puede afirmarse que ni uno ni otro sean condición necesaria y suficiente para una representación válida. Mauricio Suárez (2003) asimismo analiza y rechaza distintas versiones debilitadas del isomorfismo (homomorfismo, isomorfismo parcial, etc.) mostrando que tampoco alcanzan como criterios únicos para la representación científica.

Ahora bien, cabe preguntarse si el objetivo de un modelo es meramente la representación de su *target*. A fin de cuentas, los modelos, al menos en los casos de interés de este trabajo, tienen por función aportar conocimiento acerca del *target*. Resulta interesante entonces pensar si el éxito del modelo se da en virtud de dicha relación de representación. Suárez (2003) toma de Nelson Goodman (1976) las propiedades lógicas de la representación: no-reflexividad, no-simetría y no-transitividad. Intuitivamente imaginamos que si hemos de aprender de un sistema observando algo que no es ese sistema, eso que observamos debería ser parecido en ciertos aspectos relevantes al sistema. Ese «parecerse» resulta vago, pero antes de precisarlo, continuando en el orden de lo intuitivo, afirmamos que una relación de parecido debe ser inevitablemente simétrica: si *A* se parece a *B*, entonces *B* se parece a *A*. Tampoco se cumpliría con la no-transitividad y la no-reflexividad. Así, la relación entre simulación y mundo *target* que proponemos utilizar como plataforma para la validación no será de «representación» como la entiende Suárez.

Al concebir la simulación como un mundo posible «parecido» al mundo *target* se abre la discusión sobre cómo establecer dicho parecido. Mencionamos ya que el parecido puede estimarse a través de reproducir en el modelo las correlaciones relevadas del mundo *target*. Estas correlaciones registradas en el mundo *target* muestran cuáles son las variables relevantes que se vinculan con cada aspecto de interés para el investigador, y al ser llevadas al modelo juegan el rol de leyes de los mundos posibles obtenidos en la simulación. Weirich exige una relación de isomorfismo entre la estructura del mundo y el modelo, la cual es una rela-

ción demasiado fuerte pues necesita conocer en gran medida la estructura del *target*, y no queda claro cómo esta relación permite obtener conocimiento nuevo. Tampoco sirve plantear un parecido sobre la base de reproducir los eventos del *target* en el mundo del modelo, y adelantamos que es de mayor interés reproducir las correlaciones para asegurar una identidad parcial de estructura entre el modelo y el mundo *target* de modo que esa identidad parcial sea el justificativo para la exportación de resultados. En esta sección abordamos el problema de cuáles aspectos del mundo *target* son relevantes para la comparación de estructuras y así poder decidir cuál de entre dos modelos alternativos es más parecido al mundo *target* respecto a esa estructura.

Los elementos del mundo *target* tienen propiedades, algunas de las cuales son definitorias y se utilizan habitualmente para decidir si un elemento pertenece o no a cierta clase. Por ejemplo, un objeto cuenta como bien material negociable si en el mundo *target* se le asigna un valor intrínseco y además un valor de canje o precio. Si algo tiene valor (p. ej. afectivo) pero no puede asignársele un precio, entonces pertenece a otra categoría de objetos. Entonces el precio pasa a ser una propiedad definitoria de los objetos que pertenecen a la clase de objetos negociables.

Cada clase de elementos puede ser caracterizada por sus propiedades definitorias y además presenta otras propiedades. Los elementos de diferentes tipos se distinguen mediante las propiedades que unos tienen y los otros no. Por lo tanto, muchas de las propiedades de los tipos de objetos del mundo *target* deberán ser tenidas en cuenta al diseñar el modelo para que este pueda simular su presencia.

A su vez, los distintos elementos intervienen en relaciones con otros elementos, del mismo tipo o diferentes. Los particulares de cada tipo se relacionan de cierta manera con los particulares de los demás tipos, lo cual representa la correlación entre los valores de las variables que representan ambos tipos. Así, decimos que los particulares  $x$  de tipo  $X$  se relacionan mediante  $RXY$  con los particulares  $y$  de tipo  $Y$ , simbolizando esto como  $RXY(x, y)$ <sup>8</sup>.

Por otra parte, algunos de los particulares  $x$  tienen ciertas propiedades, y en virtud de ellas es que intervienen en algunas relaciones. Por ejemplo, debido a que ciertos  $x$  tienen la propiedad  $P$  es que se relacionan con los elementos de tipo  $Y$ . Así podemos distinguir el subconjunto de los  $x$  que se relacionan con los  $y$  atendiendo a la propiedad  $P$ . Entonces la propiedad  $P$  es una propiedad definitoria de los elementos del subconjunto: si un particular  $x$  no posee la propiedad  $P$ , entonces no se relacionará con los  $y$ .

Esta situación ha llevado a Ares *et al.* (2006) a postular la distinción de estas propiedades llamándolas «condicionantes» y al resto de las propiedades de los  $x$ , «no condicionantes». Esta distinción será de gran importancia, ya que las propiedades condicionantes son responsables de que un cierto particular intervenga o no en cierta relación. A lo largo de esta sección utilizaremos las herramientas de análisis de Ares *et al.* (2006) para decidir en qué condiciones puede respaldarse la exportación de resultados de un modelo al mundo *target*.

Supongamos un grupo de plantas de producción química. Cada planta vierte desechos al ambiente siendo algunos de ellos regulados por las normas medioambientales de modo que las plantas no pueden sobrepasar ciertos umbrales de emisión sin incurrir en una transgresión. Imaginemos que para cierto efluente de tipo  $X$ , si su valor excede el valor umbral  $x^*_1$ , pero no llega al umbral  $x^*_2$  la empresa deberá entablar una relación con la oficina  $E$  del Estado que re-

<sup>8</sup>  $RXY$  será el subconjunto del producto cartesiano del conjunto  $X$  con  $Y$ . Es decir,  $RXY$  es una relación que asigna elementos del conjunto  $Y$  a elementos del conjunto  $X$ .

gula su actividad para iniciar un plan de mejoras. Si el valor excede el segundo umbral, entonces queda impedida de seguir en funcionamiento y debe cerrar hasta regularizar sus niveles de emisión. En este ejemplo vemos que cada planta de producción puede tener una propiedad  $x$  que según el valor que tome la hace entrar en relación con diferentes entidades estatales y por ello, la propiedad  $x$  debe ser entendida como una propiedad condicionante. Diremos que el conjunto  $P$  de las plantas de producción está en relación con el conjunto de oficinas del estado  $E$  dependiendo de qué valor tome la variable  $x$  para cada planta  $p$  perteneciente a  $P$ .

Podemos entonces sostener que las propiedades condicionantes deben ser tenidas en cuenta de un modo particular en el diseño del modelo ya que operan como activadores o inhibidores de las correlaciones en el modelo. De no tratarlas de este modo, toda exportación de los modelos al mundo *target* no estaría debidamente validada, aun cuando pudieran obtenerse *outputs* suficientemente parecidos al mundo *target* a lo largo de un buen rango de condiciones iniciales.

Paralelamente, las propiedades que no son condicionantes no son relevantes para establecer el parecido estructural y por lo tanto, no tenerlas en cuenta no afecta la validez de la exportación de resultados.

Entonces, para aumentar el parecido entre el modelo y el mundo *target* no debe intentarse reproducir una mayor cantidad de propiedades de los objetos modelados sino solo aquellas que sean condicionantes.

Al mismo tiempo, la exclusión de propiedades condicionantes cuenta como una limitación del modelo e incluso podría constituir una deficiencia si se han incluido las relaciones sin las propiedades que resultan condicionantes para esa relación.

La nomenclatura «condicionantes»/«no condicionantes» es útil para decidir sobre cuáles propiedades deben modelarse según las relaciones elegidas como relevantes de acuerdo al objetivo del diseñador.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, estamos en condiciones de formalizar la similitud estructural de un modelo con el mundo *target* según nuestra posición.

El modelo  $A$  cuya descripción y especificaciones en cierto sustrato es  $\alpha$ , posee una estructura  $S1 = \langle D1, R1 \rangle$  donde  $D1$  es un dominio de objetos y  $R1$  un conjunto de relaciones establecidas entre elementos de  $D1$ .

El mundo *target* es  $B$ , cuya descripción es  $\beta$ , posee una estructura  $S2 = \langle D2, R2 \rangle$  donde  $D2$  es un dominio de objetos y  $R2$  un conjunto de relaciones establecidas entre elementos de  $D2$ .

Diremos que  $A$  es modelo de  $B$  y los resultados pueden ser exportables de  $A$  a  $B$ , sí y sólo sí luego de eliminar las propiedades no condicionantes de  $\alpha$  y de  $\beta$  es posible establecer una subestructura  $S1' = \langle D1', R1' \rangle$  de  $S1$  y, a su vez una subestructura  $S2' = \langle D2', R2' \rangle$  de  $S2$ , de forma tal que entre  $D1'$  y  $D2'$  se establezca una función biyectiva que preserve las relaciones de ambos subconjuntos.

Para concluir, abordaremos la cuestión de elegir entre distintos modelos que pretendan dar cuenta de los mismos aspectos del mundo *target* por medio de la identidad parcial de estructuras con el mundo *target*. En el caso en el que los modelos  $M1$  y  $M2$  se disputen la modelización del mundo *target*, se analizará si la estructura de uno de los modelos se encuentra como subestructura en el otro y se elegirá aquel cuya estructura sea más extensa, siempre comparando la extensión de la estructura que es isomorfa con la del mundo *target*.

En el caso en que la estructura de un modelo no pueda ser incluida en la del otro, se podrá evaluar la extensión de cada uno de ellos en reproducir la estructura del mundo *target* y



se tendrán en cuenta los objetivos de la modelización. Los modelos podrán ser ordenados mediante una similitud estructural creciente (sobre la base de una identidad parcial de estructuras) siempre que intenten dar cuenta de los mismos aspectos del mundo *target*.

Debe notarse que esta caracterización de la validación a partir de la identidad parcial de estructuras puede también ser utilizada para sostener que un modelo puede ser mejor que otro a pesar de no utilizar datos coincidentes con el mundo *target* como lo hace el segundo. Por ejemplo, puede haber un modelo *M1* que da cuenta de cómo se agrupan los comercios del mismo ramo a través de una regla sencilla de minimizar costos de traslado en los proveedores, para una población pequeña que se toma como una representación a escala del fenómeno en el mundo *target*. Otro modelo *M2* toma el número de la población real como uno de sus puntos de cotejo y mediante un algoritmo de aproximación genera el agrupamiento de los comercios del mismo ramo para dar cuenta de cómo se han radicado en barrios en los últimos diez años. Mientras que en el primer modelo se rescata una relación que se registra en el mundo *target* pero no se atiende al número de pobladores, en el segundo se tiene en cuenta el valor de la población del mundo *target* pero no se atiende a la correlación sino a ajustar los datos. Así, el primer modelo exhibe mínimamente identidad de estructura de relaciones con el mundo *target*, mientras que el segundo no. A pesar de ello, el modelo *M2* da resultados muy cercanos a los del mundo *target* ya que ha sido calibrado con datos reales de la distribución de los comercios en la última década. Nuestro criterio nos obliga a elegir el modelo *M1* ya que el tamaño de la población no parece operar en este caso como una propiedad condicionante y por lo tanto, no aporta a la similitud estructural de los modelos con el *target*.

Si en cambio se intentara modelar la cohesión social, el tamaño de la población podría muy bien comportarse como una propiedad condicionante pues una vez que una población pasa de cierto umbral, comienzan o aumentan notablemente cierto tipo de relaciones al interior de ellas. De esta manera se aprecia cuándo será de importancia tomar las propiedades para decidir sobre la similitud estructural entre el modelo y el mundo *target*.

Pero la identidad de relaciones no es la única manera en que un modelo puede obtener validación para que sus resultados sean exportables.

## 5. Más allá de la identidad de relaciones

Contrariamente a esta intención de rescatar la similitud de los hechos o eventos del mundo o de su estructura de relaciones, algunas idealizaciones pueden llevar a mundos con características explícitamente diferentes a las del mundo *target*, y no por eso dan como resultado modelos deficientes. Por ejemplo, concebir la costa de un río con una aproximación suave y no fractalizada, es un caso de variable explícitamente bien especificada y notoriamente diferente al mundo *target*. Sin embargo, no parece que el modelo pierda fuerza explicativa<sup>9</sup> en dar cuenta de muchos de los fenómenos que tienen lugar en ese río. La fractalidad de la costa no es una propiedad condicionante. Que la costa sea fractalizada o no lo sea, no condiciona la posibilidad de encallar que tiene un barco que navega a lo largo de ella. Lo que condiciona la posibilidad de encallar es la profundidad y no la forma de la costa. Aun así la fractalización de la costa podría ser relevante si se tiene el objetivo de re-

<sup>9</sup> En el sentido de Rescher (1970)

producir su forma y diferentes objetos como faros, señales, etc., que son valiosos para el navegante. Entonces, aun siendo relevante puede no ser condicionante. Incluso en estos casos la propiedad no cuenta para decidir que el modelo es estructuralmente más similar que otro que no rescate esa propiedad.

Weirich plantea que:

Una versión de la visión de que los modelos explican a través de analogías sostiene que los modelos explican porque se aproximan a los sistemas naturales. Esta versión de la visión sostiene que la similitud entre un modelo y un sistema natural es extensiva de modo que el modelo coincide cercanamente con el sistema natural en aspectos relevantes. Un modelo de la Bahía de San Francisco puede aproximarse a la Bahía en muchos aspectos. Si la aproximación es cercana uno espera que el fenómeno ocurra en el sistema natural si ocurre en el modelo. En este caso los desvíos debidos a las idealizaciones, dado que son pequeños, no afectan en gran medida al fenómeno objetivo. (2013, 114, trad. propia)

Luego aclara que en este caso es necesario especificar cuánto se aproxima el modelo al mundo *target* y demostrar que las pequeñas diferencias entre el modelo y el mundo *target* no distorsionarán al fenómeno objetivo (por ejemplo, mediante un análisis de robustez). Nuestra tesis es que no son las «pequeñas diferencias» lo que es necesario identificar y justificar, sino las similitudes estructurales, y que las variables relevantes pueden identificarse con facilidad diferenciando las propiedades condicionantes y no condicionantes.

Más allá del criterio de similitud estructural para validar la exportación de resultados, se encuentra el criterio de similitud de eventos. En el modelo de similitud de eventos se prioriza la coincidencia de las mediciones y no la coincidencia de relaciones entre los objetos modelados. Los *outputs* del modelo pueden coincidir con las mediciones del mundo *target* por un ajuste de los datos, las tendencias y las distintas propiedades que se habían tomado como aspectos a ser modelados. Pero si el mecanismo que se modeló fue aproximado por el polinomio más simple posible que ajusta los datos dentro de un margen de precisión aceptable y a lo largo de cierto rango, entonces la exportación de resultados del modelo al mundo *target* puede enfrentarse con un alto grado de incertidumbre.

Existen ocasiones en las que dicha exportación de resultados puede estar garantizada en los casos de interpolación pero su validez para los casos de extrapolación puede ser limitada, como en el caso de los modelos de fenómenos caóticos. Estos pueden arrojar resultados divergentes recién a partir de cierto valor que está fuera del rango de ajuste utilizado para la calibración. El peor escenario es aquel en que ni siquiera advertimos que una diferencia ínfima en las condiciones iniciales produce divergencias en zonas alejadas del rango. Esto atenta contra el criterio de validez del modelo por ajuste de los *outputs* con los datos empíricos. Para justificar la exportación haría falta asegurar que no se trata de un fenómeno de comportamiento caótico sino que la diferencia entre el *output* y los resultados empíricos es una función monótona de la diferencia entre los *inputs* y las condiciones iniciales empíricas.

Hay otro modo en que los diseñadores pueden apartarse de la identidad parcial de estructura y es incluyendo en el modelo relaciones que aun no siendo las mismas que las del mundo *target*, operan del mismo modo en el modelo que en el mundo *target*. Es decir, haciendo corresponder relaciones del modelo a relaciones del mundo *target*. En estos casos la modelización no tiene identidad parcial de estructura en sentido estricto, pero presenta una correspondencia biunívoca entre relaciones del mundo *target* con relaciones del modelo. El diseñador deberá apelar a relaciones de segundo orden que hagan corresponder las relacio-

nes que están en uno y otro dominio.<sup>10</sup> Con esta modificación, la identidad parcial de estructura no solo se obtiene mediante la identidad de las relaciones sino también mediante una asignación de mapeo entre relaciones de ambos dominios. Esta asignación la realiza el diseñador por medio de relaciones y características de orden superior<sup>11</sup> que justifican tratar una relación en el modelo como si correspondiera a otra en el mundo *target*. Todo esto tiene lugar de manera explícita. Así, en el modelo se puede hacer corresponder la relación « $x$  es mayor que  $y$ » a una relación en el mundo *target* en el que la opinión de cierto tipo de individuos es preferible a la opinión de otros individuos, como por ejemplo, cuando al momento de cotejar una noticia sobre meteoritos se consulta a los astrónomos y no a los economistas. Que la relación en el modelo no sea idéntica a la del mundo *target* no es todavía motivo para perder similitud estructural entre ambos.

Un ejemplo de este modo de modelar lo provee el modelo clásico de segregación racial de Schelling (1971). Aquí se modela el comportamiento de la población de un vecindario estadounidense a través de una representación muy particular. El mismo se visualiza como un tablero de damas, donde fichas negras simbolizan a individuos afroamericanos y fichas blancas a individuos caucásicos. Luego se inserta una regla: si un individuo está rodeado por más de un cierto porcentaje de individuos de un color diferente al propio, se desplazará hacia algún casillero vacío próximo. Como emergente de este modelo, al cabo de unos pocos turnos se observa en el tablero que las fichas se han segregado, apareciendo grandes clústeres de fichas blancas y negras. El resultado ha sido robusto para múltiples condiciones iniciales. En definitiva, el modelo de Schelling ha resultado exitoso para dar cuenta de la segregación racial en los barrios estadounidenses utilizando un modelado poco realista: los vecindarios no son tableros de damas ni los individuos son fichas. Sin embargo, estas características morfológicas del mundo *target* no son condicionantes. Lo que Schelling ha capturado es un mecanismo del mundo *target*: los individuos sienten necesidad de agruparse con gente de su color (por motivos varios), y eso es parte de las relaciones entre los individuos de un grupo, entre los individuos de distinto grupo, y entre los individuos y el espacio ocupado, y esa necesidad de agruparse sí es una característica condicionante. Es por ello que el modelo de Schelling ha sido tan exitoso a pesar de su sencillez<sup>12</sup>.

Otra forma de apartarse de una identidad de relaciones estricta aparece al hacer corresponder un indicador del modelo con un conjunto de variables del mundo *target* (es decir utilizar variables agregadas). Por ejemplo, en el modelo global *World2* (Forrester, 1973) se utiliza una variable llamada «capital físico» que representa al número de bienes de capital no monetarios del mundo: fábricas, herramientas, máquinas como tractores, automóviles y barcos, etc. Esta variable profundamente agregada mezcla objetos heterogéneos y por ende no puede dar cuenta de las características definitorias de cada uno de ellos. Pero sin embargo sí posee la capacidad de reproducir en el modelo sus características condicionantes: mantiene la relación entre estos bienes y las demás variables que el modelo considera relevantes. Por ejemplo: si aumenta el capital físico, aumenta la calidad de vida percibida, aumenta la capacidad de producir más capital físico, aumenta la capacidad de producir ali-

<sup>10</sup> Véase el principio de sistematicidad en Gentner y Gentner (1983).

<sup>11</sup> Por ejemplo, para que una relación del modelo pueda hacerse corresponder con otra del mundo *target* es de esperar que tenga las mismas características formales, como ser simétrica o asimétrica, etc.

<sup>12</sup> Ver Pyka y Deischel (2013)

mentos (por canalización de recursos tecnológicos al sector agrario), aumenta la polución producida, etc.

La concepción según la cual la validación del modelo se realiza sobre la base del cotejo de la coincidencia entre los *outputs* del modelo y las medidas obtenidas en el mundo *target*, como puede verse en los trabajos de Becker *et al.* (2005) y Tolk (2013), ha sido denominada «positivista», y ciertamente no es la única posible.

La concepción contraria, denominada «constructivista», negará la posibilidad de obtener datos fidedignos del mundo *target*, y trabajará con una validación por consenso, donde las partes interesadas a través de su juicio decidirán sobre la validez del modelo (y por ende sobre la posibilidad de exportar las explicaciones del mundo posible simulado al *target*), no descansando necesariamente en los datos mensurables, a los cuales se les resta importancia, debido a que sus defensores evitan asumir un compromiso ontológico de corte realista.

Si se abogase por esta otra concepción, es evidente que la similitud entre los mundos posibles simulados y el mundo *target* (ya sea de eventos o estructural) deja de ser de importancia a la hora de decidir la validez de las explicaciones causales obtenidas. Las ventajas de una concepción u otra no serán analizadas en este trabajo, basta aclarar que ambas tienen aguerridos defensores (Tolk, 2013).

Fuera de esta corriente constructivista que utiliza la herramienta pragmática del consenso para la validación, se hace necesario que el criterio de validez por ajuste o coincidencia de eventos sea reemplazado por otro criterio en términos de estructuras.

## 6. Conclusiones

Las ideas de Weirich están orientadas en la dirección adecuada, aunque en nuestra opinión debe profundizarse su análisis para acercarse a la validación por identidad parcial de estructuras con un componente pragmático.

La perspectiva denominada «positivista» da cuenta de un tipo de validación por cotejo y coincidencia que pone mayor énfasis en los eventos que en la estructura de relaciones, lo cual permite toda una amplia estrategia de salvar los fenómenos mediante mecanismos reconocidamente no existentes en el mundo *target* pero que introducidos en el mundo posible del modelo arrojan los mismos *outputs*, situando al investigador en un dilema sobre la similitud superficial versus la diferencia estructural.

La identidad parcial de estructura debería contar como un factor de mayor importancia al momento de decidir entre dos modelos que disputan su grado de validez para que sus explicaciones puedan ser exportadas desde el modelo al mundo *target*, ya que cada modelo brindará un abanico de *outputs* en función de los diferentes juegos de condiciones iniciales y cada juego de condiciones iniciales cuenta como una situación posible que modela al mundo *target*. Por este motivo la similitud de eventos solo se obtendría en el caso en que las condiciones iniciales en el modelo coincidieran con las del mundo *target* dentro de cierto margen de precisión. Dicho en otros términos, la similitud entre eventos se da en una y solo una de las corridas computacionales del modelo. Pero si el modelo está diseñado para reproducir las correlaciones más relevantes entre las variables a ser modeladas del mundo *target* la similitud estructural debe tener mayor importancia al decidir entre cuáles modelos son mejores.

Se debe prestar especial atención a los criterios de validación que descansan sobre el ajuste de los *outputs* del modelo con los datos empíricos para el caso de los fenómenos que

pueden mostrar comportamiento caótico ya que la exportación de resultados puede ser confiable solo en un rango mínimo de extrapolación y es posible que el investigador no cuente con una estimación de hasta dónde se extiende dicho rango.

La similitud estructural puede obtenerse incluyendo en el modelo las relaciones registradas en el mundo *target*, o bien diseñando el modelo con relaciones que se corresponden (mapean) con las del mundo *target* a través de consideraciones que apelan a relaciones de orden superior.

Es necesario dar cuenta de otro tipo de modelos que de forma explícita son diseñados con correlaciones o leyes y con idealizaciones que reconocidamente no corresponden al mundo *target* y sin embargo resultan eficaces en echar luz sobre el fenómeno. Esto pone en entredicho si el valor de la contribución del modelo siempre consiste en una exportación de explicaciones de un campo a otro sobre la base de una estructura común de relaciones entre sus elementos, abriendo el campo de la validación hacia una correspondencia de estructuras más versátil que no requiere la identidad de cada una de las relaciones que han sido mapeadas.

## REFERENCIAS

- Ares, Osvaldo, Alicia Di Sciulo, Gabriela Jiménez, Hernán Miguel, Jorge Paruelo, y Luis Reynoso. 2006. Nuevos roles para propiedades y relaciones en la estructura de una analogía. *Signos Filosóficos* VIII/16: 81-96.
- Becker, Joerg, Bjoern Niehaves and Karsten Klose. 2005. A Framework for Epistemological Perspectives on Simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8/4/1. Accessed April 2017. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/8/4/1.html>
- Callender, Craig and Jonathan Cohen. 2006. There is no Special Problem About Scientific Representation. *Theoria*, 55: 67-85.
- Dowe, Phil. 2000. *Physical Causation*. New York: Cambridge University Press.
- Forrester, Jay. 1973. *World Dynamics*. Cambridge: Wright Allen Press.
- Frigg, Roman and Julian Reiss. 2009. The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew?. *Synthese*, 169: 593-613.
- Frigg, Roman and Stephan Hartmann. 2017. Models in Science. In Edward Zalta (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2017 Edition)*. Accessed September 2017. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2017/entries/models-science/>
- Gentner, Dedre and Donald Gentner. 1983. Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity. In Dedre Gentner and Al Stevens, eds. *Mental Models*, 99-129. London: Laurence Erlbaum Associates.
- Giere, Ronald. 1988. *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- . 1999. *Science Without Laws*. Chicago: University of Chicago Press.
- . 2009. Is Computer Simulation Changing the Face of Experimentation? *Philosophical Studies*, 153: 59-62.
- Goodman, Nelson. 1976. *Languages of Art*. Indianapolis: Hackett.
- Hempel, Carl. 1965. *Aspects of Scientific Explanation and other Essays in the Philosophy of Science*. New York: Free Press.
- Knuuttila, Tarja. 2005. *Models as Epistemic Artifacts: Toward a Non-Representationalist Account of Scientific Representation*. Helsinki: University of Helsinki.
- Kripke, Saul. 1959. A Completeness Theorem in Modal Logic *The Journal of Symbolic Journal*, 24: 1-14.
- Lewis, David. 1973. *Counterfactuals*. Oxford: Blackwell.

- . 1986. *On the Plurality of Worlds*. Oxford: Blackwell.
- . 2004. Causation as Influence. In John Collins, Edward Hall and Laurie Ann Paul, eds. *Causation and Counterfactuals*. 75-106. Oxford: Blackwell.
- Mellor, David. 1995. *The Facts of Causation*. London/New York: Routledge.
- Morrison, Margaret. 2015. *Reconstructing Reality: Models, Mathematics and Simulations*. New York: Oxford University Press.
- Partridge, Chris, Andy Mitchell and Sergio de Cesare. 2013. Guidelines for Developing Ontological Architectures in Modelling and Simulation. In Andreas Tolk, ed. *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications*. 27-57. Berlin: Springer-Verlag.
- Pyka, Andreas and Simon Deichsel. 2013. Cutting Back Models and Simulations. In Andreas Tolk, ed. *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications*. 141-156. Berlin: Springer-Verlag.
- Rescher, Nicholas. 1970. *Scientific Explanation*. New York: Free Press.
- Schelling, Thomas. 1971. Dynamic Models of Segregation. *Journal of Mathematical Sociology*, 1: 143-186.
- Suárez, Mauricio. 1999. Theories, Models and Representation. In Lorenzo Magnani, Nancy Nersessian and Paul Thagard, eds. *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*. 75-83. New York: Kluwer Academic Press.
- . 2003. Scientific Representation: Against Similarity and Isomorphism. *International Studies in the Philosophy of Science*, 17: 225-244.
- Sugden, Robert. 2002. Credible Worlds: The Status of Theoretical Models in Economics. In Uskali Mäki, ed. *Fact and Fiction in Economics*. 107-136. Cambridge: Cambridge University Press.
- Suppes, Patrick. 1969. Models of Data. In Patrick Suppes, ed. *Studies in the Methodology and Foundations of Science: Selected Papers from 1951 to 1969*. 24-35. Dordrecht: Reidel.
- Tolk, Andreas. 2013. Truth, Trust and Turing: Implications for Modelling and Simulations. In Andreas Tolk, ed. *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications*. 1-26. Berlin: Springer-Verlag.
- van Fraassen, Bas. 1980. *The Scientific Image*. Oxford: Oxford University Press.
- Weirich, Paul. 2011. The Explanatory Power of Models and Simulations: A Philosophical Exploration. *Simulation and Gaming*. 42: 149-170.
- . 2013. Models as Partial Explanations. In Andreas Tolk, ed. *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications*. 105-119. Berlin: Springer-Verlag.
- Weisberg, Michael. 2013. *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. New York: Oxford University Press.
- Winsberg, Eric. 2010. *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: Chicago University Press.

**LEANDRO GIRI** trabaja en la Sociedad Argentina de Análisis Filosófico (SADAF). Ha publicado varios trabajos en temáticas de filosofía de la ciencia y filosofía de la tecnología.

**DIRECCIÓN POSTAL:** del Temple 2751 4.º B, Buenos Aires, Argentina, Código postal: C1427DME. E-mail: leandrogiri@gmail.com

**HERNÁN MIGUEL** es Profesor Titular de Pensamiento Científico en la Universidad de Buenos Aires (UBA). Ha publicado múltiples artículos y libros sobre filosofía de la ciencia.

**DIRECCIÓN POSTAL:** Echeverría 2843 2.º F, Buenos Aires, Argentina, Código postal: C1428DRY. E-mail: filociencias@gmail.com