

LOS MODELOS CIENTÍFICOS COMO HERRAMIENTAS EPISTÉMICAS

ABSTRACTAS PARA APRENDER A RAZONAR

Scientific Models as Abstract Epistemic Tools for Learning how to Reason

JUAN BAUTISTA BENGOTXEA COUSILLAS*

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea,

Donostia, San Sebastián, España

juanbautista.bengoechea@ehu.eus

<https://orcid.org/0000-0003-1158-1122>

Forma sugerida de citar: Bengoetxea Cousillas, Juan Bautista (2025). Los modelos científicos como herramientas epistémicas abstractas para aprender a razonar. *Sophia, Colección de Filosofía de la Educación*, (38), pp. 295-321.

Resumen

La variedad de metodologías científicas dedicadas a obtener conocimiento, generar creencias y motivar la acción es amplia. La filosofía de la ciencia y de la educación ha valorado críticamente las virtudes de los diversos métodos científicos, en especial de los inductivos y deductivos. Sin embargo, la aparición de nuevos procedimientos vinculados a ciencias no académicas ha promovido el desarrollo de nuevas perspectivas reflexivas que analicen dichas virtudes. Desde los métodos controlados aleatorios hasta los procedimientos epidemiológicos o clínicos, la filosofía ha examinado las virtudes y también los defectos de su puesta en práctica. El presente artículo asume que la modelación basada en evidencias empíricas es una práctica de alto interés en lingüística. Con el fin de sustanciar tal asunción, se comparan dos enfoques filosóficos de la modelación científica distinguidos por sus respectivas líneas de investigación en torno a la noción de representación: el representacional y el pragmático. Los enfoques se ilustran posteriormente con un caso de la lingüística denominado “análisis sintáctico del lenguaje”, dirigido a examinar muestras particulares recogidas como evidencias en fases iniciales de la modelación experimental. Como conclusión, se enfatiza que ambos enfoques filosóficos aportan elementos analíticos realmente pertinentes para el tipo de razonamiento científico que pivota en torno a modelos y cuyo alcance en la enseñanza de las ciencias puede resultar de gran interés práctico.

Palabras clave

Modelación científica, representación, lenguaje, educación, pragmática, herramienta epistémica.

* Doctor y profesor titular de Lógica y Filosofía de la Ciencia por la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, así como miembro del Laboratorio de Investigación en Complejidad y Lingüística Experimental (LICLE) de la Universitat de les Illes Balears (UIB). Ha publicado recientemente en revistas internacionales como *Revista Iberoamericana de CTS* (2024), *Principia: An International Journal of Epistemology* (2024), *Azafra* (2022), *Veritas* (2023), *Manuscrito* (2021) y *Revista Portuguesa de Filosofia* (2021). Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=OocOb_oAAAAJ&hl=es
Índice h: 5

Abstract

The variety of scientific methodologies aimed at obtaining knowledge, generating beliefs, and promoting action is very wide. Both philosophy of science and science education have been concerned with critically assessing the virtues of the various scientific methods, especially the inductive and deductive ones. However, the emergence of new procedures specific to non-academic sciences has encouraged the development of new reflective perspectives that can analyze those virtues. From randomized controlled trials to epidemiological or clinical procedures, the Philosophy of Science has been concerned with examining the virtues and also the defects of their practical set-up. The article assumes that modeling based on empirical evidence is a practice of high interest in linguistics. In order to substantiate this assumption, two philosophical approaches to scientific modeling distinguished by their respective research lines on the notion of representation are compared: the Representational and the Pragmatic. These accounts are then illustrated with a brief case taken from linguistics called “language parsing”, aimed at examining several particular samples collected as evidence in early stages of experimental modeling. By way of conclusion, it is emphasized that both philosophical accounts provide analytical elements that are relevant for the kind of scientific reasoning around models and whose scope in science education may be of great practical interest.

Keywords

Scientific Modeling, Representation, Language, Education, Pragmatics, Epistemic Tool.

296



Introducción

La diversidad metodológica en los ámbitos epistémicos y educativos es un hecho que la filosofía, especialmente la filosofía de la ciencia, ha analizado durante las últimas décadas. El método inductivo, siempre importante en la vida cotidiana y en las fases no tan teóricamente avanzadas de la ciencia empírica, presenta cierta incapacidad para crear conceptos nuevos y no puramente empíricos (Bunge, 1963, p. 141). Las alternativas deductiva y abductiva se han convertido en ingredientes clave para comprender los tipos de argumentación en epistemología y en los ámbitos educativos, pero comportan sus propias debilidades. Todas estas propuestas son copartícipes de los nuevos métodos y procedimientos de obtención y creación de creencias y conocimiento, ya que, como es bien sabido, la inducción se emplea al formular ciertas hipótesis —formales o fácticas— en ciencia y a la hora de validar las teorías fácticas. Como señalaba Bunge (1963, p. 149), la mera mención de la inferencia estadística debería ser suficiente.¹

Los procedimientos epistémicos actualizados a las nuevas necesidades científicas y tecnológicas son, como decíamos, diversos. En medicina (Sackett *et al.*, 1996), farmacología, nutrición (Bengoetxea & Todt, 2021) o educación (Cartwright, 2015; Cartwright & Hardy, 2012), amén de en casi todas las ciencias reguladoras, es habitual recurrir a procedimientos basados en evidencias y que emplean herramientas

formales de inferencia. Cuentan con sus propias jerarquías metodológicas (organizadas en función de su fiabilidad y de otros valores epistémicos) y con sus normas predilectas. Un procedimiento crucial es el denominado “ensayo controlado aleatorizado” o “ensayo clínico” (RCT, en inglés), enraizado inicialmente en la experimentación en medicina y farmacología, aunque extendido a otros ámbitos. En un contexto así caracterizado, es importante distinguir las *ciencias más tradicionales o académicas*, en las cuales las condiciones de estudio y conocimiento se aproximan más a estándares experimentales de laboratorio, de las *ciencias orientadas a la toma de decisiones*, a veces denominadas “ciencias reguladoras” o “ciencias orientadas a la toma de decisiones” (Bengoetxea & Todt, 2021, p. 43). Ambos ámbitos son básicos para obtener conocimiento, proyectar creencias y motivar acciones que, cuando menos, puedan ser caracterizadas como razonables.² La metodología dirigida a obtener conocimiento en ciencia, como señalábamos, no solo es inductiva, aunque esta sea habitual en la ciencia empírica. Incidir en esto en las aulas parece ser un aspecto pedagógico crucial en una época en la que el escepticismo infundado y los diversos “negacionismos” avanzan a su antojo, tal y como, por ejemplo, muestra acertadamente Adrian Bardon (2020) mediante su estudio del “razonamiento motivado” vinculado a las creencias y a las actitudes del “negar”.

Por el contrario, la configuración experimental idealizada de los RCT no parece ser una base suficiente para tomar decisiones regulatorias definitivas. Ya se han detectado ciertas carencias procedimentales (Truswell, 2001), amén de un sesgo fuertemente reduccionista que insiste en la primacía de la experimentación RCT como ideal aplicable a todo ámbito de investigación. Esto genera un problema práctico (muchos RCT no son viables) que nos obliga a sugerir alternativas metodológicas aplicables a otros ámbitos del conocimiento. Un objetivo directo de este texto es mostrar un procedimiento metodológico relacionado con las operaciones de modelar y razonar, especialmente en el ámbito de la lingüística. Para su posible elucidación, proponemos analizarlo con el fin de entender la generación de conocimiento y ciertas formas de razonamiento en este ámbito de las ciencias humanas. Lo denominaremos “razonamiento basado en la modelación”. Los modelos, también los científicos, pueden ser de muchos y diversos tipos (materiales, abstractos, a escala, analógicos, etc.). En este texto, partimos de una noción general, según la cual, un modelo es aquella herramienta construida por los científicos con la cual la teoría (sus leyes, sus principios, sus conceptos) se pone en contacto (por mediación e interacción) con el ámbito empírico del que trata, con el fin de actuar

sobre este o aprender de este representacionalmente. Subyace a esto, ante todo, la noción mediadora de modelación que encontramos en Morgan y Morrison (1999) y en las propuestas de Nancy Cartwright (2022). Esta idea de razonar en términos de modelación exigirá confrontar y analizar dos concepciones epistemológicas fundamentales en los debates actuales, en el seno de las disciplinas empíricas, la investigación en enseñanza de la ciencia y la filosofía: el *representacional* y el *pragmático*.

La modelación experimental en el estudio del lenguaje es una actividad de enorme pertinencia en la medida que el lenguaje se ve influido por diversas funciones cognitivas con un valor crucial para la educación y la enseñanza, desde la memoria y la percepción hasta el control y la monitorización del sujeto y las acciones de este. Somos testigos desde hace décadas de un avance sin precedentes en las hipótesis científicas acerca de la metodología lingüística (McKinley & Rose, 2020), de modo que, desde el prisma de la epistemología y de la filosofía de la ciencia, resulta apremiante examinar este tipo de hipótesis desde un enfoque naturalista y pragmático (Schulz, 2014), más allá de conjeturar hipótesis de manera intuitiva (McMullin, 2014). La modelación científica es, por lo tanto, el tema crucial subyacente al texto. En particular, se trata de la modelación general elaborada en las disciplinas que se ocupan del estudio del lenguaje, pero enfocadas desde una perspectiva pragmática que posibilite concebir los modelos como herramientas epistémicas generadas en prácticas experimentales y cuyo objetivo apunta parcialmente a la mejora de los procedimientos de aprendizaje en las aulas o en los manuales. Tanto la comprensión de contenidos materiales (científicos, lingüísticos) como el aprendizaje de mejores métodos y prácticas de razonamiento constituyen una empresa imprescindible que alumnos, profesores e investigadores deberían desarrollar si la enseñanza en ciencias es realmente un objetivo fundamental de la educación reglada.

En tal sentido, es necesario entender que la práctica científico-lingüística es tanto empírica como conceptual (Bunge, 1984, p. 163). Esto hace interesante procurar indagar acerca de si los datos y las evidencias experimentales de la adquisición, comprensión y producción de lenguaje contribuyen o no de alguna manera a la modelación y a sus hipótesis de trabajo (Baggio *et al.*, 2012; Glymour, 2000). El método presente, por ello, consistirá en el empleo de ciertos avances de la propia lingüística empírica con el fin de proponer dos conceptos filosóficos (modelación y representación) dentro de un marco en el que examinar prácticas científicas reales,³ no meramente prototipos idealizados que, supuestamente, tendrían que “respetar” ciertos códigos normativos de la propia filosofía.



El estudio de dichos conceptos, sobre la base de referencias bibliográficas vinculadas a ellos, tiene por objetivo final mostrar la validez, importancia y realidad del uso de modelos científicos para ayudar a enseñar y educar en las aulas, seminarios y laboratorios.

El texto se estructura en cinco secciones, incluida esta introducción (sec. 1). En la sec. 2 incidimos en la importancia del estudio de la modelación en lingüística basado en evidencias (LBE, en adelante), de carácter empírico y experimental en ocasiones. La sec. 3 está dedicada a contraponer dos enfoques filosóficos fundamentales de la modelación científica distinguidos por sus correspondientes tratamientos y usos de la noción de representación: el representacional y el pragmático. Expone-mos como aplicación un breve caso de la lingüística (“análisis sintáctico del lenguaje”) dirigido a examinar la modelación con evidencias y mediante herramientas representacionales (sec. 4). La conclusión enfatiza el interés de los dos enfoques filosóficos desarrollados previamente para el razonamiento científico basado en modelos y para la enseñanza de las ciencias (sec. 5).



Datos y evidencias frente a intuiciones en lingüística

Desde mediados del siglo XX, la gramática generativa y la semántica formal comienzan a señalar un aspecto arriesgado de las teorías de la competencia lingüística: estas aparecían rodeadas de un cinturón protector frente a los datos proporcionados por ciertas disciplinas empíricas (neurociencia, psicología experimental) (Baggio *et al.*, 2012; Derwing, 1979). Se suponía que la lingüística generativa se ocupaba principalmente de un modelo específico del habla real —el modelo más general (lenguaje)— que no atendía a las circunstancias particulares (fisiológicas y sociales) de las acciones lingüísticas concretas ni a su “complejidad” (Bunge, 1984, p. 165). Hoy sabemos que esto no es correcto del todo ni aconsejable. Chomsky no se opuso a esta objeción y lo que él y otros generativistas hicieron en realidad fue clarificar y defender que es el componente sintáctico (opuesto, por ejemplo, al pragmático) el que más y mejor luz arroja sobre las características de lo que denominaban “facultad del lenguaje” (Chomsky & Miller, 1963).

Esto no preocupa a la filosofía de la lingüística. Lo que sucede es que la tensión que siempre ha motivado y fortalecido esta idea de la gramática generativa puede que sea algo problemático en la medida en que ha inhibido, relativamente, el avance de la lingüística experimental. Dado

que la lingüística pretende dar cuenta de la competencia conceptualizada a partir de información acerca de la actuación (*performance*) —es decir, mediante registros normalizados de conducta lingüística— los chomskianos aceptaron que dichos datos sí eran pertinentes para la actividad lingüística teórica. Ahora bien, lo importante de ello consistía en averiguar a partir de qué tipo de actuación se podía derivar la base empírica de “las teorías de la competencia” (Baggio *et al.*, 2012, p. 328).

Bajo el prisma generativista, la base probatoria de la lingüística sería la formada básicamente por juicios introspectivos. Parecía que los enfoques chomskianos rechazaban las intuiciones propias del hablante y exigían información performativa con el objetivo de imponer ciertas constricciones a la teoría de la competencia (Baggio *et al.*, 2012). Quedaba en suspenso, sin embargo, la pregunta acerca de la base empírica de las teorías de la competencia: ¿cómo tendríamos que obtener información sobre la competencia de un hablante oyente? Según Chomsky (1976, p. 20), la obtendríamos en virtud de la actuación lingüística y de la introspección de un hablante nativo o de un lingüista nativo. Estos serían los medios que proporcionarían al lingüista los datos con los que mostrar la adecuación de la hipótesis acerca de la estructura lingüística subyacente a la facultad del lenguaje.

Parece claro que los generativistas no tomaron en consideración los datos obtenidos mediante la observación controlada (experimental) y la inferencia estadística. Según ellos, estas metodologías eran ineficaces para los propósitos de una teoría de la competencia lingüística. Definitivamente, los tipos de datos que podrían influir en una teoría de este tipo quedaban reducidos a ser *intuiciones perspicaces* del lingüista.⁴ Supuestamente, la investigación experimental buscaba alcanzar evidencias que en último término se referían a *datos de introspección*. Por ello, defendían que la teoría lingüística se basaba en las intuiciones de hablantes nativos (Baggio *et al.*, 2012, p. 331).

La lingüística no modela ni realiza experimentos del mismo tipo ni diseño que los de las ciencias naturales (en términos generales), pero esto tampoco le es necesario. En los casos de la fonología de Ilse Lehiste (Bunge, 1984, p. 167), de la psicolingüística (Prideaux, 1979), de los estudios comparativos multivariados (Fine *et al.*, 2011) o del ámbito de las redes complejas (Bengoetxea, 2024) no se intenta evaluar una supuesta naturaleza ideal de la experimentación ni de la modelación (Radder, 2003). Más bien se asume que el rasgo básico genuino de estas dos actividades es la modificación de variables (modificar el tono y la velocidad del habla, por ejemplo, para ver si la comprensión depende críticamente de alguno



de los cambios realizados) y su comparación con los grupos de control (Bunge, 1984; De Regt, 2017; Knuuttila & Merz, 2009). Es decir, es una actividad experimental modeladora.

Desde este prisma, la pregunta emergente es esta: ¿proporciona LBE algo a nuestra comprensión de la modelación científica? ¿Aporta algo la lingüística al esquema general de la científicidad y a los ámbitos filosófico y educativo científicos? La filosofía de la ciencia acepta que la lingüística a veces sí contribuye a entender mejor la modelación científica, si bien con un matiz no desdeñable: la filosofía de la ciencia sigue considerando que la inmadurez de la lingüística —debido a su carencia de leyes y a una supuesta falta de explicaciones (Egré, 2015)— es lo que la ubica en un segundo plano si se compara con las ciencias naturales. Sin embargo, exigir el manejo de leyes propias y una oferta de explicaciones es un criterio heredado de una concepción excesivamente positivista de la ciencia, por no decir controvertido. La noción de ley se podría entender en términos de la filosofía de Hume, como regularidad (un patrón sistemático) y, por ende, como vía posible a un establecimiento de leyes (probabilistas) en la lingüística. Además, hasta no hace mucho tiempo la noción de explicación en filosofía había recibido un tratamiento bastante sesgado a favor de las ciencias naturales (Bengoetxea, 2023). Por ello, sugerimos focalizar aspectos de la lingüística que proyecten una imagen manejable y alternativa a la de las ciencias naturales con el objetivo de entender mejor cómo se puede razonar mediante el uso de modelos integrados en prácticas reales de la lingüística. Tal y como se ha señalado, la modelación y la representación son dos nociones cruciales aquí, siendo esta última el origen de la bifurcación teórica entre corrientes pragmáticas, más próximas a las disciplinas empíricas, y las más ontológicas y epistemológicas, más próximas a actividades propiamente filosóficas.



Modelación y representación para el razonamiento en ciencias

Un modelo se puede construir de muchos modos. El modelo no es una copia del fenómeno sometido a examen o descripción, sino una abstracción, más o menos elevada, de este. Un modelo de los hablantes ecuatorianos del español no está formado por todos los hablantes. Los modelos son incompletos porque se idealizan. Hay quien los considera “falsedades” (Bokulich, 2012) o verdades tan solo “parciales” (Bueno &

French, 2018). Este rasgo de los modelos ha motivado diversas cuestiones filosóficas acerca de sus virtudes epistémicas, como son su fiabilidad, su capacidad de replicación y su validez (Magnani & Bertolotti, 2017; Abbuhl *et al.*, 2013, p. 116). Más allá de estas virtudes interesantes, aquí nos ocuparemos únicamente de las posibilidades que abre considerar la naturaleza instrumental versus la naturaleza puramente representacional de la modelación en las prácticas científicas y educativas, así como en la filosofía.

Lo que normalmente sirve de modelo de un dominio empírico (un *fenómeno o sistema diana*) es un sistema construido mediante abstracciones, idealizaciones, analogías o simulaciones computacionales. El fenómeno o sistema diana puede ser algo existente o no empíricamente, pues cabe la posibilidad de que sea ficcional o simulado.⁵ Y en el caso de que exista, puede que a su vez sea algo construido —por ejemplo, mediante tecnologías— sin necesidad de ser un hecho propio de un género natural (Bird, 1998). En cualquier caso, la construcción del modelo del fenómeno atravesará al menos dos fases distintas (Weisberg, 2013; Bailer-Jones, 2009; Bokulich, 2012; Bokulich, 2017; Bueno & French, 2018):

1. *La modelación se lleva a cabo mediante un proceso constructivo específico.* Los científicos buscan acceder a sistemas empíricos del mundo de una manera que les permita generar razonamiento y obtener conocimiento (o creencias para la acción). La especificidad es crucial aquí. Esta se consigue porque los modelos son constituidos de forma constreñida para proporcionarnos conocimiento dirigido a estudiar o examinar cuestiones (o hipótesis) de interés. Es en este sentido que se puede afirmar que los modelos son herramientas dirigidas al razonamiento, sistemas artificiales, construidos y constreñidos, orientados a responder a preguntas fundamentales de la investigación.

Esta imagen de los modelos es pragmática y no insiste en la representación de un sistema diana o de fenómenos empíricos externos al modelo, pues los modelos no se conciben como entidades separadas que haya que conectar a los sistemas de fenómenos del mundo mediante una relación de representación. En este sentido, ya aparecen inmersos en nuestro conocimiento del mundo. En consecuencia, es importante enfatizar que la propia construcción de un modelo puede facilitar (por analogía o por alguna otra relación entre la estructura de ese modelo en construcción y los fenómenos del mundo real estudiado) el examen que se haga de los distintos elementos (y las relaciones y funciones posibles establecidas entre ellos) postulados o dados en una configuración experimental.



La constricción es crucial y está relacionada con la idealización en la modelación. Sin idealización, algunos sistemas empíricos serían intratables matemática o computacionalmente —los fenómenos sociales son sistemas complejos con muchas variables, por ejemplo— (Thagard, 1993) y no se podrían diseñar con el fin de aislar ciertos rasgos pertinentes o diferenciales del sistema diana mediante el rechazo del resto (Mäki, 2011). En lingüística, las poblaciones de hablantes se tratan idealmente porque no todas las propiedades de una población son susceptibles de tenerse en cuenta. Por ejemplo, al trabajar con muestras de habla, los lingüistas no atienden a todas las relaciones sintácticas entre palabras (Buchstaller & Khattab, 2013). Los investigadores seleccionan un subconjunto científicamente importante de las propiedades de un fenómeno estudiado y es este el que constituirá el sistema diana.⁶

No obstante, la regulación de los tipos de idealizaciones admisibles no es un asunto de respuesta simple (Weisberg, 2013). Para evitar la arbitrariedad, se proponen principios generales (en realidad, constricciones) adaptados al trabajo empírico de la disciplina. Estos principios guían un proceso continuo y dinámico de afinación gradual en el proceso modelador (Zielińska, 2007), el cual se erige parcialmente a través de recursos ya establecidos (teóricos, empíricos, matemáticos, computacionales y representacionales) y es el resultado de la triangulación de distintos medios: otros modelos, experimentos, observaciones, teorías de fondo.

2. *Desde una perspectiva teórica, se defiende que el modelo debe tener capacidad representacional.* Hay dos maneras de entender esta capacidad. La más filosófica (enfoque representacional) la concibe como un *ajuste general* entre modelo y sistema diana. Esto se plantea una vez que el sistema diana ha sido esbozado o diseñado (una muestra poblacional, por ejemplo)⁷ con una serie de elementos seleccionados y con alguna pregunta e hipótesis a mano en la configuración experimental. Una dificultad potencial de este proceder radica en que, aunque el sistema empírico diana sea una entidad abstraída, las propiedades del sistema en realidad son concretas —como sucede con las muestras de *corpus* de hablantes (Stubbs, 2006)—. Si los modeladores emplean herramientas matemáticas y/o computacionales es importante saber si se puede comparar de algún modo el modelo con su diana. ¿Se puede establecer alguna analogía o semejanza? (Eco, 1995, p. 59). La manera estándar de responder a esto es reconstruir el fenómeno mismo en términos formales (matemáticos, computacionales) para posteriormente compararlo con el modelo empírico. Es decir, se confrontan dos modelos para detectar alguna posible semejanza mutua (o un isomorfismo, un homomorfismo parcial, etc.). De



esta manera, un modelo computacional, por ejemplo, también adoptará cierta naturaleza material (en una computadora), autónoma y concreta (Hausser, 2006). Modelo y diana se distinguirán gracias a que el modelador elige libremente la estructura del modelo formal (o computacional), mientras que el sistema diana es una entidad constreñida perteneciente al mundo.⁸

La otra manera de entender la capacidad representacional es la pragmática. La modelación es un proceso de interacción con las *herramientas representacionales* disponibles para los científicos. El modelo se diseña con un propósito y sirve de herramienta epistémica artificial. Es habitual que al científico —lingüista— no le interese en absoluto una descripción realista de ningún sistema particular de hablantes, sino que simplemente prefiera examinar una serie de interacciones entre elementos y causas internos al propio modelo.

Entre las herramientas representacionales están, en las matemáticas, el cálculo diferencial, los grafos, las redes o los diagramas, y en la computación ciertos programas informáticos. El autor ha desarrollado esta cuestión, aplicada al estudio del lenguaje, en otros lugares (Bengoetxea, 2023); allí especificaba el uso de recursos y herramientas representacionales en la labor modeladora de los lingüistas experimentales, por ejemplo, ante la cuestión de cómo se puede comparar el desarrollo del lenguaje en niños sin problemas lingüísticos detectados y niños con algún síndrome (Down, Williams), la modelación experimental y el uso de herramientas representacionales incluía *corpus* recogidos de la base de datos CHILDES (<http://childes.psy.cmu.edu/>), conversaciones transcritas de tres *subcorpus* de lenguaje (alemán, neerlandés y español), la herramienta SAN (red local de alta velocidad formada por dispositivos de almacenamiento) para resolver problemas pendientes en modelaciones previas que combinaban *scripts* materiales con *software*, el *software* Netlang —plataforma de integración que opera como servicio para agilizar el proceso de conexión de aplicaciones (www.netlang.com)— para recoger datos y evidencias de muestreos de habla, y con el fin de modelar computacionalmente el experimento, el *software* de red Cytoscape (Shannon *et al.*, 2003) gracias al cual se procesan los datos recogidos en diversas fases de la modelación experimental.

Este caso sirve para ilustrar el hecho de que concebir los modelos como herramientas puede ser algo altamente recomendable para la enseñanza de las ciencias y del razonamiento con modelos. Los modelos pueden ser herramientas que motiven a los estudiantes a reflexionar sobre fenómenos existentes, aunque también sobre fenómenos nuevos, en lugar



de entenderlos como proyecciones literales de cómo es en realidad un fenómeno empírico. De esta manera, incluso se promovería la construcción de múltiples modelos de fenómenos relacionados mutuamente con el objetivo de solventar problemas que el profesor plantease inicialmente en torno a alguna teoría, conocimiento previo e hipótesis de trabajo (Reith y Nehring, 2020).⁹

Representación formal y representación pragmática

Los apartados previos permiten establecer el estado de la cuestión filosófica en torno a la modelación científica sobre la base de un debate actual: o bien los modelos se emplean como herramientas dirigidas a razonar y solventar problemas prácticos que surjan en un contexto científico, o bien se usan con propósitos más filosóficos y ontológicos en busca de alguna realidad que los modelos supuestamente representan. Desmerecer cualquiera de ambas opciones, algo que se hace a menudo, constituiría en realidad negar la propia valía de la disciplina que realizase el análisis de tal tarea modeladora.

En la filosofía de la ciencia, estas dos formas generales de interpretar la representación (Contessa, 2011) han adoptado un registro formal, cuyo objetivo ha sido identificar y elucidar la naturaleza de los modelos científicos (concepción sintáctica y concepción semántica) (Chakravartty, 2010), y otro pragmático, según el cual hay que examinar los roles que los modelos desempeñan en las prácticas científicas reales y en el razonamiento (generación de creencias y conocimiento, resolución de rompecabezas).¹⁰ Ambos registros han empleado estudios de casos reales. Por ejemplo, Bueno (2014; Bueno & French, 2018) proyectan la modelación mediante un enfoque de *estructuras parciales*, mientras que Suárez (2015) propone una *concepción inferencial* en la que los modelos construidos son máquinas productoras de inferencias. Sin embargo, desde el prisma pragmático, estas propuestas han sido criticadas por no enfatizar suficientemente que analizar el proceso de construcción y manipulación de los modelos —como ya hemos mencionado previamente— es un requisito indispensable del estudio de la modelación orientada a obtener conocimiento y a razonar.¹¹ Tal y como Knuuttila y Voutilainen (2003) señalan:

Mientras que los defensores de la concepción semántica procuran representar los modelos de la ciencia como entidades relativamente estables y prefabricadas, los proponentes de la concepción orientada a las prácticas están interesados en el proceso modelador y en explicar por



qué y cómo se emplean los modelos en el trabajo científico (p. S 1485) (traducción propia).

La alternativa pragmatista de Knuuttila (2006) presenta un caso de modelación enfrentado al meramente representacional y sirve para ilustrar la idea de los modelos como herramientas para el estudio del lenguaje. Se trata del “análisis sintáctico del lenguaje”.¹² Knuuttila propone concebir los modelos como herramientas epistémicas que destacan la naturaleza material y el papel instrumental (herramientas) de los modelos. Esta forma de concebir los modelos busca identificar cómo se construyen, se usan y se “imaginan” realmente en las diversas actividades científicas —entre ellas, las dedicadas a la enseñanza de cómo se hace ciencia— puesto que la variedad de modelos existente en las ciencias es muy amplia. En este sentido, es correcta la apreciación de Knuuttila de que el intento de parte de la filosofía de la ciencia (concepciones sintáctica y semántica, ante todo) de proporcionar una teoría general de la representación basada en la modelación es una empresa titánica y poco realista.¹³ Compatibilizar este deseo con un proyecto naturalizado y pragmático sería algo más recomendable.

La idea de una construcción de modelos (que sean la base del razonamiento) es crucial aquí porque la noción dinámica y continuada de un modelo en la práctica científica apenas se tuvo en cuenta en la filosofía de la ciencia del siglo XX (Rost & Knuuttila, 2022). Los modelos no son entidades estables, detenidas, que solo actúan como mediadores (quietos) entre un constructo formal y otro empírico (Morgan & Morrison, 1999). El problema radica en que los modelos de las ciencias son más complejos de lo que Morgan y Morrison admiten, lo cual se debe en parte a que los fenómenos que representan son ellos mismos también entidades complejas. Los primeros no están formados únicamente por teoría, datos y evidencias empíricas, sino también por analogías, metáforas, nociones teóricas, conceptos matemáticos, técnicas formales y otros ingredientes pragmáticos (Boumans, 1999). Es decir, la triangulación de la tarea de modelación es una empresa compleja y ardua. Por ello, allende la imagen más común del modelador como un agente teórico, podríamos proyectar la imagen del investigador como un agente enriquecido con características más propias del “conocer-cómo” (Stanley, 2011), tales como las habilidades y la experiencia o pericia.

Esta nueva concepción de la modelación y del agente modelador nos hace ver con buenos ojos el enfoque productivo y dinámico de los modelos entendidos como “artefactos epistémicos” (Knuuttila & Merz, 2009), aunque sin aprobar el rechazo de toda noción de representación sustan-

cial filosófica que los pragmatistas profesan. Es conveniente no concebir la modelación como una actividad que representa pasivamente, es cierto, pero la filosofía de la ciencia siempre tendrá derecho a defender un espacio de reflexión más profunda acerca de la naturaleza de los propios modelos. Esto, obviamente, no es muy útil en lo que respecta al entendimiento de las prácticas reales ni a los planteamientos educativos de las ciencias. De ahí que separemos ambos objetivos. Desde un prisma práctico, insistimos, aceptamos que la modelación es parte sustancial de un proceso de comprensión y conocimiento de los procedimientos epistémicos que interesan a los científicos (lingüistas, químicos, físicos, economistas), dado que la práctica de crear modelos y de usarlos puede ayudar a comprender más profundamente esas mismas prácticas (Svetlova, 2015). En este sentido, afirmar que los modelos son artefactos epistémicos equivale a decir que son cosas concretas que tienen su propia manera de funcionar, sin necesidad de representar (ontológicamente) con rigurosidad ninguna estructura empírica diana, ningún fenómeno empírico (Baird, 2004). En definitiva, son “modelos concretos” (Knuuttila & Merz, 2009, p. 150). Esto encaja bien en la idea de los procesos de modelación en términos de herramientas ubicadas en el seno de ensamblajes diseñados experimentalmente (Rouse, 2015) o “agregados sociales” Latour (2008, p. 57).

Herramientas modeladoras en torno al lenguaje

Desde un prisma próximo al enfoque pragmático antes expuesto (Knuuttila, 2021; Rost & Knuuttila, 2022), se puede sugerir que en la modelación la supuesta distinción entre representar y producir sin necesidad de un ajuste entre modelo y fenómeno diana se hace borrosa (Boon & Knuuttila, 2009). La labor con modelos computacionales, por ejemplo, es un trabajo parcialmente virtual en el que se emplean sustitutos (*surrogates*) mediante los cuales los investigadores tienen la opción de razonar y construir inferencias. Aunque se hubiese reexaminado el valor representacional de la modelación en términos pragmáticos (Bailer-Jones, 2009; French, 2013; Giere, 2004), mejorando con ello los modelos previos de representación *per se* (noción realista ingenua) (Hughes, 2010; Teller, 2001), esta perspectiva “mixta” seguiría sin estimar suficientemente la gran importancia de los aspectos productivos (creadores), prácticos y dinámicos de la modelación y del razonamiento generado por ella (Humphreys, 2004), dirigidos a actuar y a obtener conocimiento (Knuuttila & Loettgers, 2012). Este aspecto debe ser tenido en cuenta porque es clave

para enseñar al alumnado a razonar y a producir inferencias con modelos para responder a preguntas planteadas por hipótesis iniciales vinculadas a las teorías manejadas.

Esto se puede observar claramente en el caso de los modelos computacionales, ante todo cuando se diseñan y aplican simulaciones. Las aproximaciones, las idealizaciones e incluso las “falsificaciones” de la modelación están vinculadas a ciertas constricciones y *affordances* aplicados a un objeto material y concreto: la computadora (Zuidema & de Boer, 2013). El género de representación implementado en la modelación computacional se puede ver, ante todo, en los resultados de la modelación y no tanto en la estructura pasiva de los modelos que, supuestamente, reflejan la estructura del fenómeno empírico estudiado (Rost & Knuuttila, 2022). En el caso de los análisis sintácticos del lenguaje, el criterio para su valoración es más pragmático que representacionalista, dado que el lingüista y el programador computacional representan cosas completamente diferentes, a pesar de estar construyendo el mismo artefacto. El lingüista busca representar el mundo lo más fielmente posible; el programador, en cambio, valora el programa-analizador (*parser*) por lo que este produce (Knuuttila, 2006, p. 42). En consecuencia, parece adecuado sostener que los modelos prefabricados, prefinalizados, que supuestamente representan (*stand for*) fenómenos no configuran el concepto de modelo ni de modelación más interesante en los procesos de producción modelar dirigidos a generar razonamiento, creencias-conocimiento y acciones.

Un análisis sintáctico mediante modelación artefactual

El análisis sintáctico es un procedimiento lingüístico que ha recibido muestras abiertas de interés teórico en la filosofía de la modelación científica. Desde una filosofía que mira a las prácticas científicas y no a prototipos ideales de ciencia, Knuuttila (2006) se ha dedicado a analizar la tarea computacional-experimental que rodea a la construcción tecnológica de modelos de análisis sintáctico (Karlsson *et al.*, 1995). Se puede sugerir, por ende, que esta línea de investigación es altamente interesante para entender algunas prácticas de razonamiento y generación de conocimiento lingüístico dirigidas a la enseñanza en ciencias.

El análisis sintáctico (*parsing*) es un procedimiento gramatical de descripción de palabras u oraciones, o de partes de un discurso constituidas por palabras con sus propios rasgos gramaticales compartidos (sustantivos, verbos, adverbios, adjetivos, conjunciones, etc.). Este tipo de análisis asigna automáticamente una estructura morfológica y sintácti-



ca —sin una interpretación semántica— a textos de entrada (*input*) de extensión y complejidad diversas (Knuuttila, 2006, p. 43; Karlsson *et al.*, 1995). Constituye, por lo tanto, un dispositivo tecno-lingüístico o programa orientado a producir un texto analizado sintácticamente, y sirve de ilustración para ver cómo la construcción de modelos puede ayudar tanto a entender científicamente los fenómenos estudiados como a producir resultados útiles.

Hay dos enfoques generales del análisis sintáctico: por un lado, el basado en la gramática, de naturaleza lingüística y descriptiva; por otro, el enfoque orientado por datos, de naturaleza estadística y probabilista, el cual incluye reglas de aprendizaje basadas en *corpus*, modelos ocultos de Markov y concepciones del aprendizaje con máquinas (Knuuttila & Merz, 2009, p. 160). El caso particular del “análisis de gramática de constricción” (CGP, en inglés) —bien desarrollado en la filosofía de la modelación en lingüística— combina una base gramatical con el manejo de características experimentales, y se fundamenta en *corpus* lingüísticos. Se mantiene completamente en el nivel de la estructura superficial y, en lugar de estipular reglas para expresiones bien formadas (como hacía la gramática generativa universal chomskiana durante sus primeros años), se constituye según constricciones que rechazan oraciones inadecuadas (Knuuttila, 2006, p. 43). Ahora bien, el análisis sintáctico no describe o “representa” de forma realista una competencia lingüística humana, ni lo pretende. La comprensión científica que proporciona no se deriva de una supuesta imagen “real” de un sistema empírico, sino más bien es algo dinámico e inherente a la pericia del lingüista en el proceso de construcción del modelo —pericia con el manejo y conocimiento del lenguaje, de elementos cognitivos y de los “artefactos tecnológicos” empleados en la práctica— (Knuuttila & Merz, 2009, p. 159).

El análisis sintáctico tiene por objetivo modelar computacionalmente algún aspecto del lenguaje mediante una herramienta consistente en un programa computacional. La gramática de constricción es un formalismo del análisis sintáctico que suministra una interpretación gramática correcta de cada palabra de un texto funcional, amén de enriquecer cada palabra con información sintáctica adicional. De esta manera, el CGP se erige a partir de un análisis metodológico previo realizado mediante un analizador morfológico y sintético (Knuuttila, 2006, p. 43; Knuuttila & Merz, 2009, p. 160).

Las palabras normalmente empleadas por los hablantes son tales que su forma (por ejemplo, “cuadrado”) se interpreta de distinta manera en función del contexto de su uso. Es decir, muchas palabras arrastran



una naturaleza ambigua. El CGP entonces busca seleccionar cuál de las interpretaciones es la apropiada en el contexto de la ocurrencia léxica, normalmente en un texto o en un discurso hablado. A esto se lo denomina “desambiguación” (DeRose, 1988; Knuuttila, 2006, p. 44). Esta búsqueda de alguna interpretación es una de las formas más interesantes de modelar el lenguaje y de obtener resultados relativamente satisfactorios y ajustables al mundo (Eco, 1995).

Un CGP procede en tres etapas (Knuuttila, 2006), en las cuales lo que se expresa como “interpretación” puede ser traducido a “modelación” en nuestro léxico más filosófico:

- Una vez que el analizador morfológico ha proporcionado todas las interpretaciones morfológicas admisibles, el CGP comprueba o chequea cuáles son las apropiadas. Lo hace mediante la aplicación de constricciones morfológicas que aprovechan el conocimiento contextual o *vecindad de cada palabra*. Por ejemplo, si una palabra cuenta con una interpretación sustantiva y otra verbal, y si está precedida por un artículo, las constricciones pertinentes restan las interpretaciones verbales acerca de esa palabra.
- Una vez elucidado el carácter de las palabras morfológicamente ambiguas, es el momento de analizarlas superficial y sintácticamente. El resultado del módulo de desambiguación morfológica se convierte en *input* para el siguiente módulo: a saber, será un mapeo sintáctico. Este asignará todas las funciones sintácticas superficiales posibles a cada interpretación morfológica aceptada. Nuevamente, la forma de una palabra puede tener distintas funciones sintácticas (sujeto, objeto o complemento directo, objeto o complemento indirecto, etc.), de modo que, para conceder a cada palabra su interpretación sintáctica correcta, el lingüista aplicará constricciones sintácticas tras realizar el mapeo y descartará asignaciones a las funciones sintácticas contextualmente incorrectas o ilegítimas.
- La etapa final es consecuencia directa de CGP, a saber, es un texto en el que, en el mejor de los escenarios, cada palabra será asignada con sus correspondientes interpretación morfológica correcta y función sintáctica apropiada.

Dos tareas cruciales aquí son la forma de representar “conjuntos de reglas” del lenguaje (Knuuttila, 2006, p. 45; Karlsson *et al.*, 1995) y la implementación de la gramática a modo de programa computacional. Este reto es muy delicado, puesto que el lingüista genera los modelos con el objetivo

de describir el mundo y de computar intentos por producirlo, construirlo y modificarlo de una manera dinámica e intervencionista (Knuuttila, 2006; Hacking, 1983, p. 220). Esta construcción del modelo es un proceso continuado de modelación que involucra distintas capas (representacionales) y comprobaciones replicadas de *corpus* varios (Knuuttila, 2006, p. 45). Tres pasos necesarios de este tipo de modelación activa y productiva que emplea herramientas representacionales son los siguientes:

- La escritura de la gramática CG para un *corpus*. Se parte de un texto analizado morfológicamente, para el cual se establecen las constricciones que desambigüen sus palabras.
- Tras aplicar la gramática resultante a un *corpus* desambiguado manualmente (tarea empírica del lingüista), el *software* del sistema genera una estadística aplicativa para cada una de las constricciones.
- A partir de esta estadística y tras identificar las predicciones equivocadas, el lingüista (gramático) o bien corrige y, o, descarta constricciones previas, o bien crea otras nuevas. Este ciclo se repite mediante el empleo de las evidencias de nuevos *corpus* hasta que la gramática resulte lo suficientemente próxima a la “actuación humana” (Knuuttila & Merz, 2009, pp. 160).

311



Como se puede observar, la construcción de un análisis sintáctico de este tipo abre una vía interesante a las nociones de modelación y de representación, que se alejan de la idea tradicional y estática propia de la filosofía de la ciencia, más bien ocupada de la relación entre un tipo de modelo prefabricado y un sistema diana real. Según ese tipo de filosofía de la ciencia y de epistemología, un modelo es epistémicamente útil si proporciona una imagen amplia del objeto o fenómeno estudiado. Pero si se adopta un enfoque, si cabe, más próximo a la idea productiva y pragmática de Knuuttila —y aunque el análisis sintáctico sea resultado de ciertos usos de herramientas representacionales— dicho enfoque será valorado básicamente por lo que produce según lo que los agentes se hayan propuesto (preguntas), y no según el reflejo ontológico de una realidad postulada.

Razonar, creer y conocer mediante modelos para educar en ciencias

Es conveniente matizar analíticamente la función de la empresa modeladora. Por un lado, cabe destacar que en la investigación científica los



modelos se conciben sin necesidad de asignaciones ontológicas; esto es, como herramientas epistémicas dirigidas a resolver problemas. Es la forma más radicalmente pragmatista. En el campo educativo de la ciencia también convendría proyectar el carácter pragmático de la modelación para que los estudiantes aprendieran a razonar con vistas a metas: responder a preguntas científicas prácticas, resolver rompecabezas, etc. Sin embargo, cabe también dejar un espacio a las cuestiones filosóficas vinculadas con la modelación, de tal modo que no resulte tan enigmático, dada la milenaria tradición filosófica occidental, preguntarse por la naturaleza de aquello que se procura modelar. No permitir esto tendría una consecuencia nefasta para muchos filósofos en ámbitos próximos a la filosofía de la ciencia, a saber, su impericia y falta de preparación en actividades empíricas en las que, a menudo, actuarían como meros invitados. El supuesto rol de sociólogo, politólogo, experto en políticas científicas, regulador o pedagogo, que muchos filósofos se arrojan so pretexto de que las cuestiones propiamente filosóficas no interesan en un campo como el de la modelación, debería —si encomiamos la sinceridad— enviarlos al desempleo.

Fox-Keller (2000), así como Gouvea y Passmore (2017, p. 50), entre otros, distinguen dos interpretaciones interesantes: los “modelos de” y los “modelos para”. Sostienen que los “modelos de”, ubicados en un entorno de representación filosófica sustantiva, siempre aparecen acompañados de “modelos para” porque los modelos científicos son herramientas para entender, explicar y predecir, y no solo en la investigación propiamente dicha, sino también en la enseñanza en las aulas. Consideran que los “modelos de” son menos capaces de respaldar la agencia epistémica de los experimentadores y de los alumnos a la hora de hacer ciencia, ya que tienden a tratar los modelos como representaciones de lo que ya conocemos, en lugar de actuar como herramientas que se usen para generar conocimiento y razonamientos nuevos (Gouvea & Passmore, 2017).

No obstante, analizar filosóficamente las prácticas también tiene su razón de ser. Debe reconocerse que concebir los modelos como herramientas y artefactos contruidos para razonar y generar conocimiento no es algo que tenga que partir necesariamente de asumir que tiene que haber una representación directa de un sistema empírico. Puede darse el caso, y a menudo se da, de que si un profesor quisiera presentar cómo funciona la modelación científica, el razonamiento subrogado basado en una correspondencia simplificada entre, por ejemplo, moléculas y un modelo material de bolas y palos, o entre el lenguaje y una facultad

inherentemente humana del lenguaje, no añadiría ningún valor al entorno de aprendizaje (el aula o el laboratorio) a menos que el profesor elaborase mucho mejor esa supuesta correspondencia. En un caso así, la clave del ejercicio sería entender el carácter hipotético y práctico del modelo. Sin embargo, desde un ángulo más filosófico y propio de las humanidades, la comprensión y la interpretación de la noción de representación puede ser fuente de preguntas interesantes para entornos científicos y educativos.

Conclusiones

En el texto se ha procurado exponer los dos polos del debate y respetar en cierta medida las posibilidades que cada uno abre. Para ello, se ha considerado que el trabajo de modelación ha de partir de cuestiones de interés, conocimiento teórico previo y conocimiento empírico, amén de una recogida de datos y evidencias que permitan construir modelos sucesivos, continuadamente, del sistema (idealizado) elegido como objeto de estudio. Un examen filosófico de esta práctica dirigida al razonamiento y que sea útil en la investigación científica y en la enseñanza de las ciencias ha permitido distinguir los conceptos de modelación y de representación, y proyectar, dentro del debate filosófico actual, dos enfoques básicos, el *representacional* y el *pragmático*, así como sus conexiones mutuas. Por último, se ha sugerido un esbozo de aplicación de las reflexiones propuestas al estudio modelador del lenguaje y, en especial, al caso del análisis sintáctico. La conclusión final, por lo tanto, pretende dejar sitio a la reflexión propiamente filosófica, sin menoscabo de la pragmática, en la que las diversas herramientas representacionales (recursos simbólicos, semióticos o materiales) también desempeñen un rol educativo con carácter propio.



Notas

- 1 El lector puede encontrar innumerables títulos dedicados a la metodología de las ciencias escritos desde una perspectiva filosófica e introductoria. Recomiendo el clásico, original de 1976, *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* de Alan F. Chalmers (1993) y el más novedoso y muy ameno *A Philosopher Looks at Science*, de Nancy Cartwright (2022).
- 2 Cabe destacar que el uso de las pruebas empíricas viene dictado, al menos en parte, por consideraciones axiológicas (pragmáticas y epistémicas, por ejemplo) con el fin de tomar decisiones que pueden afectar a regulaciones en las políticas públicas, la alimentación, la salud (fármacos) o —entre otros campos claramente importantes— la educación (Cartwright & Hardy, 2012).

- 3 Entre estas prácticas se incluyen las actividades relacionadas con la investigación en educación científica. Al respecto, algunas referencias interesantes son Krell *et al.* (2020) y Matthews (2007).
- 4 La investigación lingüística adelantaba así uno de los tópicos más en boga en la filosofía de la ciencia: el debate entre la obtención intuitiva (de butaca) y la obtención experimental de datos y evidencias para generar razonamientos (véase Sytsma & Buckwalter, 2016).
- 5 Acerca de la modelación sin fenómeno diana, véase, por ejemplo, Weisberg (2013, pp. 129-131).
- 6 Un ejemplo de esto en lingüística es el de los *corpus*, cuyos casos prototípicos son los que pretenden ser representativos de un lenguaje particular, de una variedad de este o de alguno de sus registros (Gries & Newman, 2013; Kepser & Reis, 2005).
- 7 Cabe destacar que la configuración y extensión de una muestra depende del juicio, del conocimiento de fondo y de las herramientas representacionales del lingüista experimental, mas no tanto de un algoritmo estadístico automatizado.
- 8 Este es el tema que subyace al debate entre Eco y Rorty (Eco, 1995) en torno a la interpretación. Esta, y la modelación también, por analogía, puede ser una actividad puramente pragmática, dirigida a razonar para resolver problemas prácticos (científicos) que poco tienen que ver con lo que haya en el mundo (Rorty) o, en cambio, puede depender de asunciones ontológicas y epistemológicas de carácter filosófico que ocasionalmente son tachadas despectivamente de “realistas ingenuas”.
- 9 Aunque sea para criticarlas por no caracterizar adecuadamente la noción de representación, Rost y Knuuttila (2022) repasan algunas propuestas representacionales pragmáticas aplicadas al campo de la educación, entre ellas Cheng *et al.* (2019) (herramientas para explicar los mecanismos subyacentes a los sistemas diana), Stieff *et al.* (2016) (modelos moleculares concretos) y Oliva *et al.* (2015) (competencia de los estudiantes de secundaria al modelar las transformaciones químicas).
- 10 La distinción entre los enfoques analítico (sustantivo) y pragmático de la representación —algunos lo denominan de otras maneras: “informacional-funcional” (Chakravartty, 2010) o “informacional-deflacionario” (Poznic, 2015)— establece dos agendas de investigación que se pueden distinguir gracias a su relativa conexión hipotética con el estudio de actividades científicas reales (Suárez, 2015). Los enfoques analíticos buscan elucidar relaciones básicas entre la teoría y el mundo, mientras que los pragmáticos intentan dar cuenta de la práctica científica de la construcción de modelos (Boon & Knuuttila, 2009; Bueno & French, 2018; Chakravartty, 2010; Suárez, 2015; van Fraassen, 2008; Weisberg, 2007).
- 11 Rost y Knuuttila (2022) critican, una por una, cada propuesta representacionista-pragmática porque ninguna de estas caracteriza o define adecuadamente la noción de representación. Aparentemente, como sostendremos en la última sección, esto les sirve para descalificar en su conjunto la empresa filosófica (representacionista, ontologicista, epistemológica) que intenta dar una respuesta a la cuestión de la naturaleza del conocimiento mediante modelación científica.
- 12 Knuuttila sostiene que los modelos son artefactos epistémicos (herramientas) creados para satisfacer o alcanzar ciertas metas específicas y que se hacen productivos mediante el trabajo humano y la manipulación dentro de prácticas científicas particulares (Svetlova, 2015).
- 13 Para un breve análisis crítico de algunos aspectos fundamentales (así como de algunos enigmas) de la teoría general de la representación, véase Frigg (2006, pp. 50-52).



Bibliografía

- ABBUHL, Rebehka, GASS, Susan & MACKEY, Alison
 2013 Experimental Research Design. En Robert Podesva & Devyani Sharma (eds.), *Research Methods in Linguistics* (pp. 116-134). Nueva York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013734>
- BAGGIO, Giosuè, VAN LAMBALGEN, Michiel & HAGOORT, Peter
 2012 Language, Linguistics and Cognition. En Ruth Kempson, Tim Fernando & Nicholas Asher (eds.), *Philosophy of Linguistics* (pp. 325-355). Amsterdam: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-16474-7>
- BAILER-JONES, Daniela
 2009 *Scientific Models in Philosophy of Science*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- BAIRD, Davis
 2004 *Thing Knowledge: A Philosophy of Scientific Instruments*. Berkeley: University of California Press.
- BARDON, Adrian
 2020 *The Truth about Denial*. Oxford: Oxford University Press.
- BENGOTXEA, Juan Bautista
 2024 Complex networks, structural explanations, and the role of values in experimental linguistics. *Principia: An International Journal of Epistemology*, 28(4), 517-540. <https://doi.org/10.5007/1808-1711.2024.e92531>.
 2023 Modelación, representación lingüística y redes complejas. *Veritas*, 56, 109-133. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-92732023000300109>
- BENGOTXEA, Juan Bautista & TODT, Oliver
 2021 Decision-Making in the Nutrition Sciences: A Critical Analysis of Scientific Evidence for Assessing Health-claims. *Manuscrito*, 44(3), 42-69. <https://doi.org/10.1590/0100-6045.2021.V44N3.JB>
- BIRD, Alexander
 1998 *Philosophy of Science*. Londres: UCL Press.
- BOKULICH, Alisa
 2017 Models and Explanation. En Lorenzo Magnani & Tommaso Bertolotti (eds.), *Handbook of Model-Based Science* (pp. 103-118). Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30526-4>
 2012 Distinguishing Explanatory from Nonexplanatory Fictions. *Philosophy of Science*, 79(5), 725-737. <https://doi.org/10.1086/667991>
- BOON, Mieke & KNUUTTILA, Tarja
 2009 Models as Epistemic Tools in Engineering: A Pragmatic Approach. En Anthonie Meijers (ed.), *Handbook of the Philosophy of Science* (vol. 9, pp. 687-719). Amsterdam: Elsevier.
- BOUMANS, Marcel
 1999 Built-In Justification. En Margaret Morrison & Mary Morgan (eds.), *Models as Mediators: Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 66-96). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511660108.003>

BUCHSTALLER, Isabelle & KHATTAB, Ghada

- 2013 Population Samples. En Robert Podesva & Devyani Sharma (eds.), *Research Methods in Linguistics* (pp. 74-95). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013734>

BUENO, Otavio

2014. Computer Simulations: An Inferential Conception. *The Monist*, 97(3), 378-398. <https://doi.org/10.5840/monist201497324>

BUENO, Otavio & FRENCH, Steven

- 2018 *Applying Mathematics: Immersion, Inference, Interpretation*. Oxford: Oxford University Press.

BUNGE, Mario

- 1984 Philosophical Problems in Linguistics. *Erkenntnis*, 21(2), 107-173. <https://doi.org/10.1007/bf00166382>

- 1963 *The Myth of Simplicity*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

CARTWRIGHT, Nancy

- 2022 *A Philosopher Looks at Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

- 2015 *Evidence: for Policy*. Londres: LSE.

CARTWRIGHT, Nancy & HARDY, Jeremy

- 2012 *Evidence-Based Policy: A Practical Guide to Doing it Better*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199841608.001.0001>

CHAKRAVARTTY, Anjan

- 2010 Informational versus Functional Theories of Scientific Representation. *Synthese*, 172(2), 197-213. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9502-3>

CHALMERS, Alan Francis

- 1993 *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid: Siglo XXI.

CHENG, Meng-Fei, WU, Tsung-Yu & LIN, Shu-Fen

- 2019 Investigating the Relationship Between Views of Scientific Models and Modeling Practice. *Research in Science Education*, 51, 307-323. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-09880-2>

CHOMSKY, Noam

- 1976 *Aspects of the Theory of Syntax*. Cambridge, MA: The MIT Press.

CHOMSKY, Noam & MILLER, George

- 1963 Introduction to the Formal Analysis of Natural Languages. En D. Luce, R. Bush & E. Galanter (eds.), *Handbook of Mathematical Psychology* (pp. 269-321). Hoboken, NJ: John Wiley.

CONTESSA, Gabriele

- 2011 Scientific Models and Representation. En Steven French & Juha Saatsi (eds.), *The Bloomsbury Companion to the Philosophy of Science* (pp. 120-137). Londres: Bloomsbury.

DE REGT, Henk

- 2017 *Understanding Scientific Understanding*. Oxford: Oxford University Press.

DEROSE, Steven

- 1988 Grammatical Category Disambiguation by Statistical Optimization. *Computational Linguistics*, 14(1), 31-39. <https://bit.ly/49LxBq6>



DERWING, Bruce L.

- 1979 Psycholinguistic Evidence and Linguistic Theory. En Gary Prideaux (ed.), *Perspectives in Experimental Linguistics* (pp. 113-138). Amsterdam: John Benjamins.

ECO, Umberto

- 1995 *Interpretación y sobreinterpretación*. Cambridge: Cambridge University Press.

EGRÉ, Paul

- 2015 Explanation in Linguistics. *Philosophy Compass*, 10(7), 451-462. <https://doi.org/10.1111/phc3.12225>

FINE, Eric, DELIS, Dean, PAUL, Brianna & FILOTEO, Vincent

- 2011 Reduced Verbal Fluency for Proper Names in Nondemented Patients with Parkinson's Disease: A Quantitative and Qualitative Analysis. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 33(2), 226-233. <https://doi.org/10.1080/13803395.2010.507185>

FOX-KELLER, Evelyn

- 2000 Models of and Models for: Theory and Practice in Contemporary Biology. *Philosophy of Science*, 67, S72-S86. <https://doi.org/10.1086/392810>

FRENCH, Steve

- 2013 *The Structure of the World*. Oxford: Oxford University Press.

FRIGG, Roman

- 2006 Scientific Representation and the Semantic View of Theories. *Theoria*, 21(1), 49-65. <https://bit.ly/3BplceK>

GIERE, Ronald

- 2004 How models are used to represent physical reality. *Philosophy of Science*, 71, S 742-S 752. <https://doi.org/10.1086/425063>

GLYMOUR, Bruce

- 2000 Data and Phenomena: A Distinction Reconsidered. *Erkenntnis*, 52(1), 29-37. <https://doi.org/10.1023/A:1005499609332>

GOUVEA, Julia & PASSMORE, Cynthia

- 2017 "Models of" versus "Models for". *Science & Education*, 26(1-2), 49-63. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9884-4>

GRIES, Stephan & NEWMAN, John

- 2013 Creating and Using Corpora. En Robert Podesva & Devyani Sharma (eds.), *Research Methods in Linguistics* (pp. 257-287). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO97811390137>

HACKING, Ian

- 1983 *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

HAUSSER, Roland

- 2006 *A Computational Model of Natural Language Communication: Interpretation, Inference, and Production in Database Semantics*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-35477-8>

HUGHES, Robin

- 2010 *The Theoretical Practices of Physics*. Oxford: Clarendon Press.

HUMPHREYS, Paul

- 2004 *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford: Oxford University Press.





- KARLSSON, Fred, VOUTILAINEN, Atro, HEIKKILÄ, Juha & ANTILA, Arto
1995 *Constraint Grammar: A Language-Independent System for Parsing Unrestricted Text*. Berlín: Mouton de Gruyter.
- KEPSEK, Stephan & REIS, Marga
2005 Evidence in Linguistics. En Autores (eds.), *Linguistic Evidence: Empirical, Theoretical and Computational Perspectives* (pp. 1-6). Berlín: De Gruyter.
- KNUUTTILA, Tarja
2021 Models, Fictions and Artifacts. En Wenceslao González (ed.), *Language and Scientific Research* (pp. 199-220). Cham: Palgrave-Macmillan. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-60537-7>
2006 From Representation to Production: Parsers and Parsing in Language Technology. En Johannes Lenhard, Günter Küppers & Terry Shinn (eds.), *Simulation: Pragmatic Construction of Reality* (pp. 41-55). Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/1-4020-5375-4>
- KNUUTTILA, Tarja & LOETTIGERS, Andrea
2012 The Productive Tension: Mechanisms vs. Templates in Modeling the Phenomena. En Paul Humphreys & Cyrille Imbert (eds.), *Models, Simulations, and Representations* (pp. 3-24). Abingdon, Oxfordshire: Routledge.
- KNUUTTILA, Tarja & MERZ, Martina
2009 Understanding by Modeling: An Objectual Approach. En Henk de Regt, Sabina Leonelli & Kai Eigner (eds.), *Scientific Understanding: Philosophical Perspectives* (pp. 146-168). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- KNUUTTILA, Tarja & VOUTILAINEN, Atro
2003 A Parser as an Epistemic Artifact: A material view on models. *Philosophy of Science*, 70, S1484-S1495. <https://doi.org/10.1086/377424>
KRELL, Moritz, REDMAN, Christine, MATHESIU, Sabrina, KRÜGER, Dirk & VAN DRIEL, Jan
2020 Assessing Pre-Service Science Teachers' Scientific Reasoning Competencies. *Research in Science Education*, 50(12), 2035-2329. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9780-1>
- LATOUR, Bruno
2008 *Reensamblar lo social: una introducción a la teoría del actor-red*. Buenos Aires: Manantial.
- MAGNANI, Lorenzo & BERTOLOTI, Tommaso
2017 *Handbook of Model-Based Science*. Dordrecht: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-30526-4>
- MÄKI, Uskali
2011 Models and the Locus of their Truth. *Synthese*, 180(1), 47-63. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9566-0>
- MATTHEWS, Michael
2007 Models in Science and in Science Education: An Introduction. *Science & Education*, 16(7-8), 647-652. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9089-3>
- McKINLEY, Jim & ROSE, Heath
2020 *The Routledge Handbook of Research Methods in Applied Linguistics*. Abingdon, Oxfordshire: Routledge.

McMULLIN, Ernan

- 2014 The Virtues of a Good Theory. En Martin Curd & Stathis Psillos (eds.), *The Routledge Companion to the Philosophy of Science* (pp. 561-571). Abingdon, Oxfordshire: Routledge.

MORGAN, Mary & MORRISON, Margaret

- 1999 *Models as Mediators*. Cambridge: Cambridge University Press.

OLIVA, José María, ARAGÓN, María del Mar & CUESTA, Josefa

- 2015 The Competence of Modelling in Learning Chemical Change. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 751-791. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9583-4>

POZNIC, Michael

- 2015 Representation and Similarity: Suárez on Necessary and Sufficient Conditions of Scientific Representation. *Journal for General Philosophy of Science*, 47, 331-347. <https://doi.org/10.1007/s10838-015-9307-7>

PRIDEAUX, Gary

- 1979 *Perspectives in Experimental Linguistics*. Amsterdam: John Benjamins.

RADDER, Hans

- 2003 Technology and Theory in Experimental Science. En Hans Radder (ed.), *The Philosophy of Scientific Experimentation* (pp. 152-173). Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.

REITH, Marco & NEHRING, Andreas

- 2020 Scientific Reasoning and Views on the Nature of Scientific Inquiry: Testing a New Framework to Understand and Model Epistemic Cognition in Science. *International Journal of Science Education*, 42(16), 2716-2741. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1834168>

ROST, Marvin & KNUUTILA, Tarja

- 2022 Models as Epistemic Artifacts for Scientific Reasoning in Science Education Research. *Education Sciences*, 12(4), 276. <https://doi.org/10.3390/educsci12040276>

ROUSE, William

- 2015 *Modeling and Visualization of Complex Systems and Enterprises: Explorations of Physical, Human, Economic, and Social Phenomena*. Hoboken, NJ: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118982747>

SACKETT, David, ROSENBERG, William, GRAY, Muir, HAYNES, Brian & RICHARDSON, Scott

- 1996 Evidence Based Medicine: What it is and what it isn't. *British Medical Journal*, 312(7023), 71-72. <http://doi.org/10.1136/bmj.312.7023.71>

SCHULZ, Roland

- 2014 Philosophy of Education and Science Education: A Vital but Underdeveloped Relationship. En Michael Matthews (ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 1259-1316). Dordrecht: Springer. http://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8_39

SHANNON, Paul, MARKIEL, Andrew, OZIER, Owen, BALIGA, Nitin, WANG, Jonathan, RAMAGE, Daniel, AMIN, Nada, SCHWIKOWSKI, Benno & IDEKER, Trey

- 2003 Cytoscape: A Software Environment for Integrated Models of Biomolecular Interaction Networks. *Genome Research*, 13(11), 2498-2504. <https://doi.org/10.1101/gr.1239303>





STANLEY, Jason

2011 *Know How*. Oxford: Oxford University Press.

STIEFF, Mike, SCOPELITIS, Stephanie, LIRA, Matthew & DESUTTER, Dane

2016 Improving Representational Competence with Concrete Models. *Science & Education*, 100(2), 344-363. <https://doi.org/10.1002/sce.21203>

STUBBS, Michael

2006 Language Corpora. En Alan Davies & Catherine Elder (eds.), *The Handbook of Applied Linguistics* (pp. 106-132). Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. <http://doi.org/10.1002/9780470757000>

SUÁREZ, Mauricio

2015 Deflationary Representation, Inference, and Practice. *Studies in History and Philosophy of Science*, 49, 36-47. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2014.11.001>

SVETLOVA, Ekaterina

2015 Modeling as a Case for the Empirical Philosophy of Science. En Susann Wagenknecht, Nancy Nersessian & Hanne Andersen (eds.), *Empirical Philosophy of Science: Introducing Qualitative Methods into Philosophy of Science* (pp. 65-82). Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18600-9>

SYTSMA, Justin & BUCKWALTER, Wesley

2016 *A Companion to Experimental Philosophy*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell.

THAGARD, Paul

1993 Computational Tractability and Conceptual Coherence. *Canadian Journal of Philosophy*, 23(3), 349-363.

TELLER, Paul

2001 Twilight of the Perfect Model. *Erkenntnis*, 55, 393-415. <https://doi.org/10.1023/A:1013349314515>

TRUSSWELL, Stewart

2001 Levels and kinds of Evidence for Public-Health Nutrition. *The Lancet*, 357(9262), 1061-1062. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)04308-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)04308-7)

VAN FRAASSEN, Bas

2008 *Scientific Representation*. Oxford: Oxford University Press.

WEISBERG, Michael

2013 *Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World*. Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199933662.001.0001>

2007 Who is a Modeler? *The British Journal for the Philosophy of Science*, 58(2), 207-233. <https://doi.org/10.1093/bjps/axm011>

ZIELIŃSKA, Dorota

2007 The Selective Mode of Language use and the Quantized Communicative Field. *Journal of Pragmatics*, 39(5), 813-830. <https://doi.org/10.1016/j.pragma.2006.12.006>

ZUIDEMA, Willem & DE BOER, Bart

2013 Modeling in the Language Sciences. En Robert Podesva & Devyani Sharma (eds.), *Research Methods in Linguistics* (pp. 422-439). Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139013734>

Apoyos

Ayuda PID2023-147251NB-I00 del proyecto “OUTAGENCIES: Varieties of autonomous agency across living, humanimal and technical system” (IP: Xabier Barandiaran) financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y FEDER/UE.

Declaración de Autoría - Taxonomía CRediT	
Autor	Contribuciones
Juan Bautista Bengoetxea Cousillas	Al tratarse de autoría única, la contribución total corresponde al mismo autor. El contenido presentado en el artículo es de exclusiva responsabilidad del autor

Declaración de Uso de Inteligencia Artificial
Juan Bautista Bengoetxea Cousillas, DECLARA que la elaboración del artículo <i>Los modelos científicos como herramientas epistémicas abstractas para aprender a razonar</i> , no contó con el apoyo de Inteligencia Artificial (IA).

Fecha de recepción: 12 de julio de 2024
Fecha de revisión: 15 de septiembre de 2024
Fecha de aprobación: 15 de noviembre de 2024
Fecha de publicación: 15 de enero de 2025