

**REPRESENTAR E INTERVENIR CON TECNOMUNDOS VIRTUALES:  
SIMULACIONES, FICCIONES Y CONTROVERSIAS**

***REPRESENTING AND INTERVENING IN VIRTUAL TECHNOWORLDS: SIMULATIONS,  
FICTIONS AND CONTROVERSIES***

JOSÉ LUIS GRANADOS MATEO

[jlgranados.ing@gmail.com](mailto:jlgranados.ing@gmail.com)

Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (España)

JAVIER ECHEVERRÍA EZPONDA

[javier.echeverria.ezponda@gmail.com](mailto:javier.echeverria.ezponda@gmail.com)

Academia de las Ciencias, de las Artes y de las Letras del País Vasco (España)

RECIBIDO: 27/05/2019

ACEPTADO: 18/07/2019

**Resumen:** Las simulaciones computacionales constituyen el principal campo de pruebas virtual en múltiples ciencias, una práctica distintiva con respecto al *Representar* e *Intervenir* que Hacking proponía en 1983. Estas no solamente constituyen una herramienta de cálculo, sino que también suponen una metodología de investigación en sí misma. A través de ellas se pueden recrear tecnomundos virtuales que sustituyen como objeto de estudio a sistemas naturales experimentalmente inaccesibles, como el cambio climático o fenómenos astrofísicos. Este artículo analiza la posibilidad de considerar este tipo de simulaciones como objetos de controversia superpuestos al debate del realismo científico. Para ello, se parte de la caracterización de Hacking, adoptando una perspectiva praxeológica y focalizándose en aquellas con potencial explicativo causal. Finalmente, se analiza la aplicabilidad de los argumentos de la intervención y la correspondencia múltiple de representaciones, analizando las diferencias y analogías entre la práctica de observar con microscopios y la práctica de simular con tecnología computacional.

**Palabras clave:** realismo científico, simulaciones computacionales, modelos científicos, Ian Hacking, tecnomundo virtual, ficciones.

**Abstract:** Computer simulations are currently the main virtual testing field within several scientific disciplines. It's a distinctive practice with respect to the *Representing* and *Intervening* proposed by Hacking in 1983. For, a computer simulation isn't solely a calculation tool; it also acts as a research methodology in itself. Through them, virtual technoworlds and their objects of study can be recreated—thereby granting access to experimentally inaccessible natural systems (i.e., climate change or astrophysical phenomena). This article analyzes the tenability of considering these simulations as objects of dispute, superimposed on the debate of scientific realism. To this end, we start with the characterization of Hacking by adopting a praxeological perspective, and then focusing on simulations with causal explanatory potential. Following this, the applicability of the arguments of intervention, as well as the multiple correspondence of representations, are evaluated. From this data, the article concludes with an analysis of the analogies and differences between the practice of observing by means of a microscope and simulating by means of computational technology.

**Keywords:** Scientific Realism, Computer Simulations, Scientific Models, Ian Hacking, Virtual Technoworld, Fictions.

## Introducción

A la hora de abordar la controversia del realismo científico, Ian Hacking propuso en *Representing and Intervening* (1983) dos perspectivas estrechamente vinculadas entre sí: uno se podía preguntar si las entidades postuladas por las teorías científicas existían en el mismo sentido en que existen las observables (perspectiva ontológica), o uno se podía preguntar si las proposiciones teóricas que elaboramos sobre dichas entidades son verdaderas o no (perspectiva epistemológica). Hasta el momento de su publicación, el debate había sido principalmente abordado a nivel de representación y lenguaje, dejando de lado la práctica experimental que, según Hacking, había sido sistemáticamente descuidada por la filosofía de la ciencia. Él se propuso invertir esa tendencia poniendo énfasis en la práctica, su complejidad tecnológica y el uso del conocimiento para alterar el mundo.

De este modo, propugnó que los filósofos de la ciencia estudiaran más la observación científica (o la experimentación) en tanto acciones, y menos los enunciados que posteriormente se generan a partir de ésta. Según él, el análisis teórico de estos enunciados conducía a reflexiones atrapadas en la representación, y por ende, a un callejón sin salida. Para él, lo importante era que la práctica (hacer, intervenir) era previa a la observación y a la experimentación y, a su vez, esas acciones científicas eran previas a las proposiciones que las expresan. Por ello, vio en los instrumentos y artefactos científicos, así como en su construcción y en su uso, el campo más importante para la reflexión filosófica.

Ahora bien, en el ensayo preliminar de *La estructura de las revoluciones científicas*, Hacking mencionó que “la experimentación ya no es lo que solía ser, sufrió cambios y, hasta cierto punto, tuvo que ceder su lugar a la simulación computacional” (2012, p. 12). Y, efectivamente, la praxis científica ha evolucionado desde 1983. Antes de experimentar e intervenir materialmente, estas permiten construir y analizar múltiples estados posibles, modificando la programación y no sólo permitiendo utilizar los recursos matemáticos tradicionales, como diagramas y representaciones cartesianas de funciones matemáticas, sino que además posibilitan trabajar virtualmente con técnicas más complejas, proporcionando un valor epistémico adicional a la experimentación que *extiende* nuestras habilidades cognitivas naturales (Humphreys 2004, 2009, 2019). Gracias a ello, los científicos no son sólo capaces de crear nuevos fenómenos físicos, como diría Hacking (1983), sino que también son capaces de crear fenómenos *virtuales* que proporcionan datos imposibles de obtener en los laboratorios tradicionales, lo que las convierte en una práctica científica

distintiva del *representar* e *intervenir* tradicional, y considerándose, en sí misma, una metodología de investigación con características propias (Humphreys 2009, Winsberg 2010).

Según Hacking, había dos tipos de realismos: uno de teorías y otro de entidades. Él se mantuvo escéptico hacia las teorías y, en sintonía con el énfasis que dispuso en los instrumentos y la experimentación, defendió un *realismo ontológico selectivo* en base a dos argumentos: el *argumento de la intervención* (1983) y el *argumento de la correspondencia múltiple de representaciones* (1981). Ambos aludían a entidades teóricas inobservables pero que, en virtud de nuestra capacidad para manipularlas o la coherencia entre imágenes proyectadas por artefactos heterogéneamente contruidos, estas cobraban un estatus, para Hacking, ineludiblemente real. Nuestro objetivo en este artículo no es argumentar a favor o en contra de esta modalidad de realismo científico, sino proponer y aproximarse a una controversia superpuesta a ella y que surge a la hora de considerar las simulaciones como una práctica constitutiva de conocimiento.

Nos referiremos, en concreto, a simulaciones destinadas a *representar* virtualmente ciertos rasgos de un sistema físico en el que no podemos *intervenir*, en la línea de las estudiadas por Paul Weirich (2011, 2013). Este tipo de simulaciones son capaces de explicar parcialmente algunas causas del fenómeno objeto de estudio a través del análisis de diversas representaciones virtuales. Siguiendo las dos perspectivas abordadas por Hacking, la controversia que proponemos surgiría en (i) el grado de verdad de las simulaciones que generan explicaciones causales referidas a sistemas naturales empíricamente inaccesibles (perspectiva epistemológica), y (ii) el realismo de entidades virtuales que constituyen dichas simulaciones (perspectiva ontológica).

La tesis que defendemos no es, por tanto, que las simulaciones tengan algo que aportar al debate del realismo científico, estrictamente hablando, sino que sugieren considerar al *realismo virtual* como una controversia complementaria. Esta controversia es *dependiente* del realismo científico del corpus teórico-científico utilizado previamente a cualquier especificación informática, pero que surge cuando se consideran otros elementos inherentes a todo el proceso de simulación, desde su modelización inicial hasta la obtención de un resultado final aceptado, superponiéndose de este modo al realismo de la representación científica en términos clásicos.

Para abordar esta cuestión, hemos dividido el artículo en cuatro partes. En el segundo apartado, establecemos y analizamos las nociones y conceptos con los que trabajaremos, para lo cual adoptamos un formalismo que precisa sus interrelaciones. En el tercer apartado, en base a las nociones planteadas en el

anterior apartado, caracterizamos la controversia del realismo virtual para el tipo de simulaciones tratadas por Weirich (2011, 2013) e identificamos la *opacidad epistémica* (Humphreys 2004, 2009) y la *confiabilidad computacional* (Durán y Formanek 2019) como problemas que, en lo que nos concierne, sólo son una componente más dentro de la controversia del realismo virtual de simulaciones. En el cuarto apartado, analizamos el uso de ficciones en modelización computacional y su relación con la noción de “confiabilidad” propuesta por Eric Winsberg (2006, 2010), abriendo la posibilidad de considerar cierto grado de verdad en algunas simulaciones. Por último, en el quinto apartado se trata la perspectiva ontológica del realismo virtual, estudiando la posibilidad extrapolar los dos anteriormente citados argumentos de Hacking al caso particular de entidades virtuales. Como veremos, ambos suscitan problemas que dificultan su aplicabilidad en los tecnomundos generados por simulación.

### **Simulaciones computacionales: nociones y consideraciones de partida**

En la obra *A Mathematical Theory of Communication* (1948), Shannon demostró que los circuitos eléctricos pueden ser analizados mediante instrumentos lógicos, concretamente las álgebras de Boole. A nuestro modo de ver, esta demostración del isomorfismo entre las álgebras de circuitos y la lógica proposicional fue un momento clave para la aparición a finales de siglo del sistema tecnológico TIC. Las diversas tecnologías eléctricas (relés, circuitos, transistores, etc.) pasaron a tener un fundamento lógico muy preciso, suponiendo una hibridación entre la lógica y la ingeniería eléctrica que, junto con avances posteriores en lenguajes de programación, permitieron sentar las bases de las simulaciones computacionales actuales y la transformación de mundos en *tecnomundos* (Echeverría 2018).

Tal y como los concebimos, los tecnomundos son mundos artificiales *superpuestos* a la naturaleza<sup>1</sup>, espacios de construcción simbólica propiciados por tecnología digital que poseen una ontología dual físico-abstracta<sup>2</sup>. Las entidades que constituyen los tecnomundos son una colección de datos<sup>3</sup> estructurados, almacenados, comunicados y representados mediante secuencias concretas de dígitos binarios (ceros y unos). A nuestro modo de ver, los

---

<sup>1</sup> Para la distinción entre mundo-artificial/mundo-natural, véase Brocano (pp. 99-116).

<sup>2</sup> Actualmente, existe una discusión acerca del carácter físico/abstracto de lo comúnmente denominado como *software*. Si bien la distinción entre *software/hardware* puede ser controvertida, la mayoría de autores están de acuerdo en concebir a programa informático como una entidad abstracta y también como una secuencia de operaciones físicas (Turner y Angius 2019).

<sup>3</sup> Según Humphreys, un “dato” es el valor de una variable. Véase (2011, pp. 13-15).

tecnomundos existen con independencia del sujeto, en los que el científico puede representar e intervenir mediante acciones tecnológicas, posibles gracias a distintos dispositivos físicos (*hardware*) y los sistemas operativos basados en lenguajes informáticos (*software*). La mediación que introducen estos lenguajes es muy distinta a la mediación de los naturales y matemáticos a los que se refería Hacking: permiten, en sus distintas modalidades, la comunicación humano-máquina y el intercambio de información máquina-máquina. Así, la relación sujeto/tecnomundo está mediada netamente por tecnologías, las cuales no son solamente instrumentales, sino partes *constituyentes* de ese mundo. Ello ha permitido utilizar a las tecnologías ya no sólo como un instrumento de observación, sino como una plataforma de investigación en sí misma, convirtiendo a la simulación computacional en una práctica distinta a la experimentación y con nuevas potencialidades epistémicas (Winsberg 2010, 2019).

Las simulaciones se diseñan con diversos propósitos, y ellos no tienen por qué estar ligados con una representación “realista” del mundo natural. Nosotros aquí nos referiremos específicamente a simulaciones que pretenden representar fenómenos físicos con fines explicativos, en la línea de las estudiadas por Paul Weirich (2011, 2013). Según este autor, el interés epistémico de este tipo de simulaciones radica en el sistema objeto, lo *imita* y su modelo rector comparte con el sistema físico (algunas) características estructurales<sup>4</sup>. Son los científicos quienes deciden en cada caso qué variables o aspectos del sistema objeto son relevantes modelizar, y también son ellos quienes consideran si las mismas han sido capturadas de forma suficientemente precisa. Así, estas simulaciones son utilizadas para comprobar qué leyes o conceptos de una teoría pueden aplicarse a fin de obtener explicaciones en el tecnomundo modelado, uno de los tipos de “mediación” propuestos por Morrison (2015). Según Weirich (2013), una explicación derivada de la simulación supone una explicación del modelo que lo subyace (fijándose en las correlaciones out-put/in-put), y a su vez, esta es una explicación *parcial* del sistema objeto.

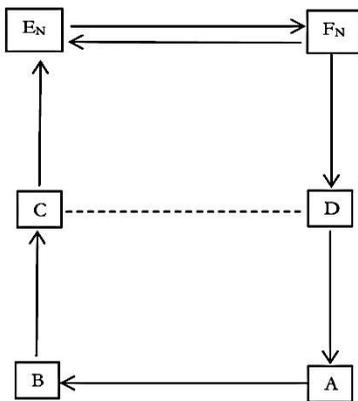
Weirich (2013) utiliza las nociones de “mundo posible” y “clases de mundos” para referirse a los modelos. Los “mundos posibles” serían aquellos que se refieren a un sistema objeto sin dejar eventos indeterminados en la configuración del modelo y las “clases de mundos” serían modelos no especificados en su totalidad. Por nuestra parte, preferimos adoptar la noción de “tecnomundo virtual”, que subsume a las nociones de “mundos posibles” y “clases de mundos” y pone énfasis en el carácter tecnológico-digital de las

---

<sup>4</sup> Véase Giri y Miguel (2018).

representaciones generadas, sin aceptar el posicionamiento realista de Weirich ante los “mundos posibles”. Por el momento, consideremos que los mundos virtuales pueden ser útiles, en mayor o menor medida, y proporcionar conocimiento científico valioso acerca de nuestras teorías, experimentos y, en algunos casos, acerca de los sistemas naturales a los que se refieren. Por ello los denominamos *virtuales*: por su naturaleza digital, propiciada por las TIC, y también por la *potencia* generadora de conocimiento<sup>5</sup>. El realismo de este es, precisamente, lo que se plantea en este trabajo.

Vistas desde un sentido *amplio*<sup>6</sup>, entonces, este tipo de simulaciones suponen un método integral para el estudio de sistemas, incluyendo la configuración de modelos informáticos, el procesamiento automático de datos y la obtención, visualización e interpretación de resultados. Para los objetivos de este trabajo, partiremos de una definición más acotada, en concreto una adaptación de la propuesta por Humphreys (2004, pp. 105-114) que nos servirá para estructurar nuestra ulterior argumentación. Esta definición<sup>7</sup> conlleva implícitas una familia de conceptos compositivos y que están relacionados de la siguiente manera:



- (A): Estado inicial del sistema objeto (O).
- (B): Estado final del sistema objeto (O).
- (A→B): proceso físico entre estados (A)-(B)
- (C): Teoría(s) que explica(n) (A→B).
- (B→C): Teorización de (A→B).
- (D): Explicación causal del proceso (A→B)
- (C→D): Deducción del proceso (A→B) a partir de (C).
- (E<sub>N</sub>): Modelo computacional de (A→B) a partir de (C).
- (C→E<sub>N</sub>): Modelización comp. de (A→B) a partir de (C).
- (F<sub>N</sub>): Representación virtual de (E<sub>N</sub>) tras ejecución (N).
- (E<sub>N</sub>→F<sub>N</sub>): Simulación-básica de (D).
- (F<sub>N</sub>→E<sub>N</sub>): Re-modelización a partir de (F<sub>N</sub>).
- (F<sub>N</sub>→D): Actualización de (D) a partir de (E<sub>N</sub>).
- (D→A): Intervención que provoca (A→B).

Diagrama 1: Esquema del proceso de simulación computacional. El subíndice (N) representa el estado del elemento al que se refiere.

<sup>5</sup> Véase Quéau (1995, pp. 27-29) para la relación virtualidad/potencialidad.

<sup>6</sup> Estas pueden concebirse en un sentido amplio (*broad*), o en un sentido acotado (*narrow*). Una simulación entendida en un sentido *amplio* consiste en el proceso integral de investigación; mientras que en un sentido *acotado* supone el proceso de cómputo que proporciona soluciones a un modelo computacional. Véase Winsberg (2015).

<sup>7</sup> Partimos de la definición dada por Humphreys (2004, p. 110), que a su vez fue una respuesta ante las objeciones que presentaron Hartmann (1996) y Hughes (1999) con respecto a su primera definición propuesta en Humphreys (1990).

En general, la resolución analítica ( $C \rightarrow D$ ) es imposible y por ello se recurre a la capacidad de cómputo, que puede resolver ( $C$ ) numéricamente a través de su modelización ( $C \rightarrow E_N$ ). En estos casos, siguiendo a Humphreys (2004, p. 110), decimos que un sistema ( $S$ ) proporciona una simulación-básica ( $E_N \rightarrow F_N$ ) de un proceso ( $A \rightarrow B$ ) sólo en caso de que ( $S$ ) sea un dispositivo computacional concreto que produzca, a través de un proceso temporal, soluciones a un modelo computacional ( $E_N$ ) que represente correctamente a ( $A \rightarrow B$ ), ya sea de forma dinámica o estática. Si además el modelo computacional ( $E_N$ ) utilizado por ( $S$ ) representa correctamente la estructura del sistema objeto ( $O$ ), entonces ( $S$ ) proporciona una simulación-básica del sistema ( $O$ ) con respecto a ( $A \rightarrow B$ ).

El sistema ( $S$ ) se refiere a un sistema computacional concreto, esto es, aquél compuesto por aparatos o componentes físicos (*hardware*) que interactúan mediante conjuntos de instrucciones establecidas (*software*) para lograr una “simulación-básica” (*core simulation*). Esta última ( $E_N \rightarrow F_N$ ) es la implementación de un modelo computacional ( $E_N$ ), es decir, el proceso de cómputo de información (ceros y unos) del modelo en un intervalo de tiempo y en un sistema computacional ( $S$ ) concreto, abarcando el cómputo de soluciones y el proceso de representación de estas. Este proceso se puede ejecutar tantas veces ( $N$ ) como se requiera para llegar a una representación virtual aceptada ( $F_T$ ), siendo ( $T$ ) el número de ejecuciones de simulaciones-básicas necesarias.

El modelo computacional ( $C$ ) es una especificación formal construida para representar un proceso natural ( $A \rightarrow B$ ) a partir de una o varias teorías científicas ( $C$ ), estando anotados en lenguaje informacional de alto nivel y memorizados en forma de programa informático. Los modelos, al ejecutarse, guían las simulaciones-básicas ( $E \rightarrow F$ ), es decir, establecen las tareas que el sistema ( $S$ ) debe ejecutar en un orden secuencial concreto. Se identifica con la noción de modelo de Humphreys (2004), el cual los refiere como una 6-upla compuesta por (i) una plantilla computacional, (ii) supuestos de construcción, (iii) conjunto de corrección, (iv) una interpretación, (v) la justificación inicial de la plantilla y (vi) una representación final<sup>8</sup>.

Una *representación virtual* ( $F_N$ ) es el conjunto de datos interactivos, explorables y visualizables producto de una simulación-básica, es decir, un conjunto símbolos sintetizados mediante técnicas infográficas. Estas pueden darse simultáneamente de múltiples maneras: estructuras matriciales de datos, arrays, gráficos o imágenes estáticas/dinámicas acerca del sistema objeto. Una *representación virtual final* ( $F_T$ ) sería la última representación virtual, generada

---

<sup>8</sup> No confundir con la noción de “representación virtual”, que se define más adelante. Esta última se refiere a las constituidas tras el proceso de simulación, para el cual se requiere de un modelo configurado a través de representaciones. Estas últimas son a las que se refiere Humphreys.

por la simulación-básica cuando  $(N)=(T)$ . Estas, a su vez contienen *entidades virtuales*, que forman parte constituyente de la representación virtual. Son entidades que necesitan ser especificadas en cada modelo, tanto en la tipología de objeto que suponen como en las propiedades y características relacionales con el resto de los elementos del modelo. Pueden ser virtualizaciones de entidades teóricas, pero también pueden ser entidades ficticias inexistentes en el sistema objeto, como la viscosidad artificial, el confinamiento de vorticidad o los termostatos sintéticos en el caso de simulaciones de hidrodinámica (Winsberg y Mirza 2018).

Por último, el proceso  $(F_N \rightarrow E_N)$  es el proceso de re-modelización, es decir, el del ajuste del modelo  $(E_N)$  para llegar a una nueva solución. A todo ese proceso inferencial retroalimentario out-put/in-put llevado a cabo  $(N)$  veces, es decir, el par  $(E_N \rightarrow F_N)-(F_N \rightarrow E_N)$ , es a lo que llamaremos “simulación computacional” o, simplemente, “simulación”. El proceso de simulación diremos que ha finalizado cuando  $(N)=(T)$ , siendo  $(T)$ , como se ha dicho anteriormente, el número de simulaciones-básicas necesarias para dar con un resultado final aceptado.

De todas las nociones presentadas, se puede deducir lo siguiente:

1. La representación virtual  $(F_N)$  no es una imagen del mundo natural, sino una imagen del modelo  $(E_N)$ . De aquí que la distinción epistémica sea clara: la experimentación produce información acerca de cómo se comporta el sistema, mientras que la simulación produce información acerca del modelo (Peschard 2013).
2. Cada representación virtual  $(F_N)$  es el conjunto de “estados” posibles del modelo  $(E_N)$ , el medio visual para el estudio de cada simulación-básica  $(E_N \rightarrow F_N)$ . A medida que se desarrolla el proceso iterativo de simulación  $(E_N \rightarrow F_N)-(F_N \rightarrow E_N)$ , surgen una pluralidad de entidades que están en constante metamorfosis.
3. Una de las diferencias más notables entre las representaciones virtuales  $(F_N)$  y las representaciones a las que se refería Hacking (C) es que las primeras son *múltiples* para un mismo modelo  $(E_N)$ , que se ejecuta  $(N)$  veces con cada simulación-básica  $(E_N \rightarrow F_N)$  y puede reajustarse continuamente  $(F_N \rightarrow E_N)$ . Como apunta Graham Kennedy (2012), que hace un estudio en simulaciones astrofísicas, la *comparación* de resultados  $(F_N)$  en función de los cambios realizados en el modelo  $(E_N)$ , es lo que proporciona un potencial explicativo para determinar cuáles son las causas del proceso y cuáles no.
4. Siguiendo a Quéau (1995), podemos afirmar que las representaciones virtuales  $(F_N)$  además se diferencian de las representaciones a las que aludía Hacking (C) en la universalidad del código base (lo numérico), el

enlace operatorio entre la imagen y los lenguajes formales, el potencial de cálculo del sistema informático y la capacidad de visualización concreta de los modelos abstractos.

**La controversia extendida: el realismo virtual de las simulaciones**

Del mismo modo que en el realismo científico son especialmente relevantes las preguntas acerca de la existencia de entidades inobservables –como los fotones o el flogisto–, las preguntas más relevantes que proponemos atañen a la relación entre las simulaciones y los mundos físicos a los que se refieren, especialmente cuando nos resulta imposible intervenir en ellos. Uno puede experimentar con el electrón, pero uno no puede hacer experimentos en la zona convectiva interna de las estrellas o experimentar con la presión y velocidad del viento dentro de una tormenta supercelda. En estos casos, la simulación supone la principal metodología de investigación, constituyendo tecnomundos virtuales que *sustituyen* a los mundos experimentalmente accesibles<sup>9</sup>, y ampliando, de este modo, la controversia del realismo científico:

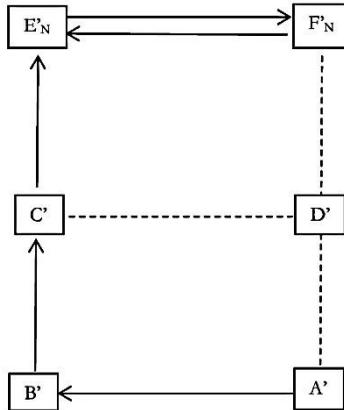


Diagrama 2: El superíndice (') representa el caso particular de las simulaciones de un sistema objeto inaccesible experimentalmente.

¿Cómo podemos afirmar que las simulaciones  $(E'_N \rightarrow F'_N) - (F'_N \rightarrow E'_N)$  proporcionan descripciones (aproximadamente) verdaderas de  $(A' \rightarrow B')$  o que

<sup>9</sup> Véase Parker (2009).

las entidades que contienen existen de la misma forma en los sistemas objeto a los que se refieren, si no hay posibilidad de intervención ( $D' \rightarrow A'$ )? Esta es la pregunta por el *realismo virtual*, y aquí la abordaremos en las dos perspectivas caracterizadas por Hacking: una epistemológica y otra ontológica.

Primeramente, debemos retomar una de las observaciones mencionadas en el anterior apartado: las representaciones virtuales ( $F'_N$ ) no son una imagen del proceso natural ( $A' \rightarrow B'$ ), sino una imagen del modelo ( $E'_N$ ). Esto hace que el valor epistémico de una simulación sea, como mínimo, *dependiente* de los modelos la que rigen, los cuales conllevan una serie de idealizaciones, parametrizaciones, etc. Por ello, podría parecer lógico pensar que las simulaciones nada tienen que ver con la verdad, sino más bien la utilidad para facilitar la investigación. Y esto es una postura que, en general, compartimos. Sin embargo, a pesar de los recortes del mundo que supone la modelización ( $C' \rightarrow E'_N$ ), ello no implica, a nuestro modo de ver, que no se pueda considerar el realismo virtual en los casos donde las simulaciones explican aspectos de un proceso natural inaccesible empíricamente ( $D' \dashrightarrow A'$ ), deviniendo la principal fuente de conocimiento. En estos casos, creemos que se presenta una modalidad de controversia particular; y afirmamos que se superpone a la del realismo científico porque conlleva implícita, primeramente, una dependencia de la disposición realista/anti-realista de las teorías o entidades científicas referidas en los modelos ( $E_N'$ ).

Si se quiere abordar una simulación atmosférica, por ejemplo, su realismo virtual va a depender *de facto* de la disposición realista/anti-realista de las teorías de fluidos, fuerzas intermoleculares y también de las entidades teóricas que forman parte de estas teorías ( $C'$ ) y que son implementadas y desarrolladas en los modelos ( $E_N'$ ). Así como el realismo científico de una teoría ( $C'$ ) consideraría (aproximadamente) verdadera la explicación causal ( $D'$ ) con respecto al proceso ( $A' \rightarrow B'$ ), el realismo virtual de un modelo computacional ( $E_N'$ ) consideraría (aproximadamente) verdadera la explicación causal ( $F'_T$ ) con respecto a ( $D'$ ). El realismo en el tecnomundo virtual, por tanto, es un realismo condicionado. Sin embargo, ello no obsta para considerar el carácter verdadero del conocimiento que se pueda derivar de una u otra simulación, ni tampoco el realismo de las entidades que estas contienen. Habrá que considerar, eso sí, algunos aspectos técnicos y tecnológicos añadidos durante todo el proceso de simulación. Uno de los principales aspectos viene dado por la naturaleza de los procesos de cómputo que, como veremos, implican atender el realismo virtual propuesto desde una óptica praexeológica.

Por una parte, los científicos pueden construir un modelo computacional ( $E'$ ) en una modalidad de lenguaje de *alto nivel*, el cual sirve para expresar algoritmos

comprensibles para la cognición humana. Se empieza tratando una representación científica ( $C'$ ), luego se sintetiza una imagen correspondiente al modelo sacado de su interpretación. Por otra parte, a diferencia de la especificación algorítmica del programa ( $C'$ ), la implementación ( $E'_N \rightarrow F'_N$ ) se lleva a cabo en modalidades de lenguaje de *bajo nivel*<sup>10</sup>. La implementación supone la ejecución del modelo en un sistema computacional determinado ( $S$ ), lo cual involucra procesos físicos, conversiones analógico-digitales y comunicación entre dispositivos. Todos ellos llevan a cabo procesamientos internos en dos niveles de voltaje en lenguaje máquina, de ahí su representación mediante un sistema de numeración binario. Estas representaciones internas no tienen relación de similaridad (o de isomorfismo) con lo representado, precisamente porque el lenguaje-máquina no ha sido elaborado para que sus secuencias de signos y de bits sean legibles ni interpretadas por ningún ojo humano.

Esto quiere decir que los lenguajes computacionales no sólo implican la transliteración entre lenguajes naturales o la traslación de modelos matemáticos a programas informáticos, sino también la capacidad de transferencia automática y humanamente ilegible de datos entre dispositivos informáticos. Ello no impide que, ulteriormente, el ordenador sea capaz de ofrecer una representación virtual ( $F'_N$ ) del objeto que sea apto para las capacidades perceptivas del ser humano, y por tanto similar e incluso isomórfico al mundo simulado (Echeverría 1998). Lo que sí impide, por el contrario, es comprender el proceso de cómputo ( $E'_N \rightarrow F'_N$ ), que implica lo que Humphreys ha denominado “opacidad epistémica” (2004, 2009, 2019), que se refiere a la imposibilidad de conocer todos los elementos epistemológicamente relevantes del proceso de una simulación. Según la complejidad de esta, puede haber simulaciones más opacas que otras; sin embargo, todas ellas comparten cierto grado de su condición como *caja negra*. Humphreys presenta este punto de la siguiente manera:

Un proceso es, en esencia, epistemológicamente opaco para  $X$  si y sólo si es imposible, dada la naturaleza de  $X$ , que  $X$  conozca todos los elementos epistemológicamente relevantes del proceso” (Humphreys 2009, p. 618).

Estos “elementos epistémicamente relevantes del proceso” pueden ser objetos como una función, variable, puntero de memoria o cualquier otro componente implicado en la ejecución ( $E'_N \rightarrow F'_N$ ) del modelo ( $E'_N$ ), así como en la representación de los resultados ( $F'_N$ ). La variable ( $X$ ) se refiere a un número de agentes cognitivos involucrados en un proceso epistemológicamente opaco. Esto

---

<sup>10</sup> Para la distinción entre especificación e implementación del programa véase Turner y Angius (2019).

quiere decir que si un agente cognitivo pudiera detener la simulación y analizar el procesamiento interno, no podría ni conocer los estados previos del proceso, ni reconstruir la simulación procesada hasta ese momento, ni tampoco deducir lógicamente los estados que supuestamente deberían seguirle a partir del modelo ( $E'_N$ ). La complejidad y velocidad del proceso computacional hace que, en mayor o menor medida, ningún agente cognitivo pueda saber qué hace el ordenador *a ciencia cierta*; sin contar con el hecho de que la información sobre los procesos de cómputo, aunque estos puedan dejar un rastro, permanece oculta para el usuario (Colburn y Shute 2007). Los científicos no se preocupan por cuestiones como la ubicación exacta de una variable en la memoria, pues son tareas automáticas llevadas a cabo por la máquina virtual en un lenguaje de bajo nivel. Por eso, Humphreys afirma que intentar rastrear estas operaciones *trasciende* a nuestras habilidades de comprensión (2004, 2009, 2019), y por ende a la disposición realista/anti-realista de las representaciones ulteriores ( $F'_N$ ) y las explicaciones causales ( $D'$ ) que se derivan de todo el proceso de simulación ( $E'_N \rightarrow F'_N$ )-( $F'_N \rightarrow E'_N$ ).

Uno podría pensar entonces que, si se quiere abordar el realismo virtual de estas simulaciones, habría que optar por una vía de óptica analítico-teorética hacia las características que presentan ( $F'_N$ ), al igual que con las teorías científicas ( $C'$ ). Sin embargo, las simulaciones son un proceso más complejo. Como hemos mencionado anteriormente, las explicaciones causales ( $D'$ ) que se puedan llegar desarrollar acerca de ( $A' \rightarrow B'$ ) surgen del proceso iterativo ( $E'_N \rightarrow F'_N$ )-( $F'_N \rightarrow E'_N$ ), no de una teoría estable en el tiempo. Por otra parte, la opacidad epistémica de ( $E'_N \rightarrow F'_N$ ) resulta un impedimento determinante, al menos en la práctica. El análisis y la síntesis digital de signos permiten construir representaciones informáticas finales que son parcialmente similares a las imágenes-objeto del modelo inicial, pero la relación de similaridad *desaparece* en los pasos intermedios (Echeverría 1998). Esto implica el problema de la *confiabilidad computacional* (Durán y Formanek 2019), en el que se cuestiona la justificación de los resultados de una simulación-básica. En lo que nos concierne, que es el grado de realismo de las explicaciones causales que se derivan, así como el realismo de las entidades que constituyen las representaciones virtuales, la justificación de resultados sólo supone una componente de la controversia, pero no la única que influye en el realismo del proceso ( $E'_N \rightarrow F'_N$ )-( $F'_N \rightarrow E'_N$ ). Los procesos de modelización ( $E'_N \rightarrow F'_N$ ) y re-modelización ( $F'_N \rightarrow E'_N$ ) influyen también en el realismo virtual de las simulaciones. Como afirma Jebeile (2018), el *gap* entre el out-put ( $F'_N$ ) y el modelo ( $E'_N$ ) no impide generar explicaciones a partir de las representaciones generadas, y esas explicaciones son, también, susceptibles de ser consideradas verdaderas en mayor o menor medida. Por eso

la distinguimos de otros problemas como la confiabilidad de los procesos de cómputo, los cuales son subsumidos por la controversia del realismo virtual que proponemos.

En suma: resulta imposible tratar de analizar desde una óptica teórico-representacional el realismo virtual del conocimiento sintetizado con simulaciones explicativas referidas a sistemas objeto inaccesibles experimentalmente. De ahí que haya que optar por una perspectiva praxeológica y, siguiendo a Hacking, atender a las intervenciones técnicas de construcción de simulaciones. Estas son un proceso, no un resultado único y puntual. Por lo tanto, conviene analizar todos y cada uno de los pasos de dicho proceso.

### **Un enfoque praxeológico: ¿verdad o confiabilidad?**

La práctica con simulaciones ha sido ampliamente estudiada por Eric Winsberg (2006, 2010, 2019). Según él, podemos afirmar que los científicos deben realizar múltiples intervenciones que integran un saber científico-teórico y un uso creativo del saber experiencial técnico-informático (*background knowledge*), de forma que la simulación cumpla sus objetivos epistémicos siendo computacionalmente tratable<sup>11</sup>. En otras palabras: los valores que guían las acciones de modelización y simulación son plurales. Por una parte, se encuentran valores epistémicos (precisión, coherencia, adecuación a la naturaleza), pero por otra parte también aparecen valores técnicos y tecnológicos (fiabilidad, robustez, tratabilidad, eficiencia computacional), además de otros valores periféricos, como la consensualidad de resultados entre la comunidad científica.

Este pluralismo axiológico se evidencia en la aplicación de conocimientos científicos y extra-científicos, lo cual supone un objeto de evaluación a la hora de validar el proceso de simulación y verificar sus resultados (Winsberg 2010, 2019). Este conocimiento está en buena medida basada en la experiencia de los científicos y se aplica en la especificación algorítmica de una o varias teorías científicas en el modelo de simulación ( $E_N$ ), incorporando parametrizaciones, condiciones de contorno, métodos numéricos, “trucos” computacionales, bibliotecas de funciones, técnicas de compresión de la información, aproximaciones, discretizaciones, suposiciones *ad hoc*, etc. Todas ellas ajustan el corpus teórico-científico a las constricciones y potencialidades disponibles en el ordenador.

---

<sup>11</sup> El concepto de “tratabilidad computacional” lo entendemos como la capacidad de un sistema de computación digital de resolver un modelo de simulación en un tiempo finito determinado.

Según Winsberg (2010, 2019), para realizar estos ajustes se dan inferencias que suponen al menos tres diferencias con respecto a la mayoría de las abordadas dentro de las argumentaciones acerca del realismo científico, las cuales en general refieren de lo particular a lo abstracto (*Ibid.*). Según él, estas técnicas son *descendentes*, *variadas* y *autónomas*. Primero, son descendentes (*downward*) porque su punto de partida son teorías abstractas que se van particularizando en modelos computacionales. Segundo, son variadas (*motley*) porque suponen aplicar una pluralidad de métodos simultáneamente, incluyendo técnicas de rentabilidad computacional y herramientas de testeo típicamente informáticas. Tercero, son autónomas (*autonomous*) porque requieren ser justificadas de forma interna e independiente, debido a que no pueden ser contrastadas por la observación o la experimentación.

Estas particularidades llevan a Winsberg a afirmar que las simulaciones son “reivindicativas”, del mismo modo que Hacking lo afirmaba para el caso de la experimentación y el uso de instrumentos (Hacking 1999). Cuando las técnicas y asunciones empleadas tienen éxito – es decir, cuando producen resultados que encajan bien dentro de lo esperado por datos previos, observaciones, intuiciones, etc. – entonces su credibilidad como técnicas o asunciones razonables aumenta dentro de la comunidad científica. Por lo tanto, los resultados de las simulaciones no son aceptados *ipso facto*, sino que se requiere de mucha experiencia y la habilidad de integrar una pluralidad de conocimientos y decidir qué resultados son correctos y cuáles no. Por ello, dice Winsberg que las simulaciones también tienen “vida propia”, al igual que Hacking para la experimentación (1992), llevando consigo su propio historial de técnicas exitosas cuya validez es independiente del corpus teórico-científico tratado, algo con lo que Humphreys también está de acuerdo (2004). De esta manera, las simulaciones que proporcionan resultados aceptados por la comunidad científica resultan “confiables” en función de los propósitos con los que han sido construidos. En parte por ello, utiliza el concepto de “confiabilidad” (*reliability*) en lugar de “verdad”: porque el éxito de la simulación depende de sus objetivos y estos no tienen por qué asociarse con la “verdad”. Las simulaciones utilizadas en ciencias del cambio climático, por ejemplo, tratan de pronosticar fenómenos con fines prácticos, como la toma de decisiones políticas de anticipación o mitigación. No tratan de explicar cómo es verdaderamente el mundo, y ello no impide que tengan un éxito predictivo considerable.

Uno de los ejemplos para ilustrar esto último es el caso de la “viscosidad artificial” en hidrodinámica numérica (Winsberg y Mirza 2018), que fue inicialmente un invento del equipo de John von Neumann durante el proyecto Manhattan. Este equipo de tecnocientíficos utilizó simulaciones para predecir la

dinámica de las ondas de choque, las cuales no podían ser modeladas “realísticamente” a nivel molecular con las capacidades computacionales disponibles. Para que la simulación fuera tratable, se requería un modelo con una malla de elementos finitos más gruesos, lo que producía oscilaciones alrededor de una onda de choque de discontinuidad aguda que provocaban un resultado erróneo. Para que la simulación fuera “confiable” y proporcionase soluciones aproximadamente correctas sin desvirtuar la física básica, introdujeron una variable similar a la viscosidad que amortiguase oscilaciones no deseadas. Esta variable – la viscosidad artificial- tenía un valor demasiado alto para poder corresponderse con el “mundo real”, pero se convirtió en un truco indispensable para realizar una amplia gama de cálculos fluidodinámicos. Para Winsberg y Mirza, este es un ejemplo que muestra que el éxito predictivo de una simulación no implica su “verdad”. De hecho, sugiere que el uso deliberado de ficciones aboga, hasta cierto punto, por desechar el argumento de los “no-milagros” (2018).

Ahora bien, que en general los modelos computacionales contengan ficciones no implica que las simulaciones con fines explicativos no pudieran ser consideradas, en cierto modo, verdaderas. En general, el uso de ficciones y la verdad del modelo que las contiene pueden considerarse compatibles, cosa que ha sido defendida, por ejemplo, en los trabajos de Paul Teller (2009) o Ronald Giere (2009). Para el caso de simulaciones computacionales con fines explicativos, caben señalar los trabajos de Hindriks (2008) y Graham Kennedy (2012). Este último, por ejemplo, argumenta que hay simulaciones que explican aspectos del mundo *en virtud de* sus asunciones y falsedades, y no *a pesar de* ellas. Precisamente, la posibilidad de hacer multitud de distintas configuraciones en los modelos ( $E'_N$ ) tantas veces ( $N$ ) como se requiera, y contrastar las distintas representaciones generadas ( $F'_N$ ) para cada ( $E'_N$ ), permite inferir nuevo conocimiento en base a la dinámica de correlaciones  $F'_N/E'_N$ . Ese conocimiento, en forma de explicaciones causales parciales (Weirich 2011, 2013) es posible sólo gracias a las posibilidades que ofrece la simulación y, a pesar de tener (algunos) presupuestos falsos, ¿Cómo considerar si son verdaderas, así como sus explicaciones derivadas?

Sea cual sea la disposición realista/anti-realista que se asuma para las teorías ( $C'$ ), la disposición ante esta pregunta debería enfrentar el problema adicional de la naturaleza iterativa de las simulaciones y su dependencia técnica y tecnológica en todo el proceso constituyente de un resultado explicativo final. Reconocer este problema no hace que estos sean falsos, pero sí puede añadir motivos adicionales para cuestionar su realismo virtual (en su vertiente epistemológica), para lo cual podría ser coherente introducir conceptos como la *verdad virtual* o la

aproximación, o no, a una *verdad parcial*<sup>12</sup>. Ello daría cuenta de la incompletitud inherente a una simulación pero podría considerar distintos niveles o grados de verdad en función del modo en que se construyen los tecnomundos virtuales. La controversia que surge consistiría, precisamente, en saber qué clase de “verdad” pueden llegar a darnos a conocer, o a comprender, este tipo de simulaciones. Para ello, las teorías de la verdad empleadas no pueden limitarse a ser una filosofía del conocimiento científico, sino que ha de pasar a ser, además, una filosofía de la actividad científica, incluyendo el análisis de los propósitos y de los objetivos de las acciones representacionales a lo largo del proceso de simulación, y no sólo a las teorías subyacentes a los modelos.

Si Hacking ya era escéptico ante la verdad en las teorías científicas, es lógico pensar que en este debate lo fuera aún más, si cabe. Para él, conceptos como el de “realidad” o “verdad” son creaciones humanas que se dan una vez está constituida la representación. Primero se da esta y “una vez que hay una práctica de representación, viene inmediatamente el concepto de la realidad” (1983, p. 163). Esto es lo que le lleva a sostener que no puede haber ningún argumento decisivo a favor o en contra del realismo en el nivel de la representación: “El realismo y el anti-realismo se deslizan por allí, tratando de encontrar algo en la naturaleza de la representación que les permitirá dominar al otro. Pero allí no hay nada más” (p. 173). Por ello, va a buscarlo en otro nivel de discusión, basado en el hacer, no en el decir, en la intervención, no en la representación. Porque según él, cuando se pasa de la representación a la intervención, el anti-realismo tiene menos fuerza: “[...] la realidad tiene que ver más con lo que hacemos en el mundo, que con lo que pensamos acerca de él” (p. 36). Dado que la simulación depende a fin de cuentas de un corpus teórico, es lógico pensar que Hacking se adheriría a una posición como la de Winsberg, es decir: *confiabilidad sin verdad*.

### **El realismo virtual de entidades: de los microscopios a las simulaciones**

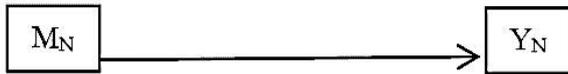
En su artículo “Do we see through a microscope?” (1981), Hacking se preguntó cómo distinguimos un resultado válido en un microscopio de un “artefacto” producido por los instrumentos. Con el fin de atender a esta pregunta, analizó varios ejemplos extraídos de la física y puso de relieve que los microscopios más desarrollados nos ofrecen representaciones artificialmente construidas, y no imágenes “directas” de esos objetos. Dichas imágenes están posibilitadas por los

---

<sup>12</sup> Para la noción de “verdad parcial”, véase Quintanilla (1985).

aparatos, y a éstos les subyacen a su vez múltiples intervenciones previas de los inventores y técnicos que los han construido, al igual que las simulaciones.

Tras estudiar el microscopio de Abbe, el microscopio con polarizador, el microscopio por fluorescencia, el microscopio de contraste de fase, el de interferencia de contraste, el microscopio acústico, etc., Hacking afirma que la operación de ver por un microscopio resulta cada vez más compleja en esos sucesivos aparatos, y ello no tanto desde el punto de vista teórico (las teorías subyacentes suelen ser elementales), sino desde el punto de vista técnico. Desde una perspectiva ontológica, la existencia de tan diversos artefactos proporciona el primer argumento en favor del realismo de Hacking (Diagrama 3): si en dos (o más) micrografías ( $Y_N$ ), como la electrónica y la fluorescente, construidas en base a técnicas y teorías heterogéneas, la estructura general del objeto estudiado ( $M_N$ ) son exactamente idénticas, entonces, la entidad debe de ser real.



*Diagrama 3: Proceso de representación con microscopios.*

Esto quiere decir que la estricta coincidencia entre dos representaciones científicas ( $Y_N$ ) artificialmente construidas (y totalmente heterogéneas por sus procedimientos de construcción) resulta ser, para Hacking, no sólo un criterio seguro para aceptar que las imágenes con las que los científicos trabajan son verdaderas, sino también para sustentar un realismo de entidades ( $M_N$ ) en base a esa *correspondencia múltiple entre representaciones*, la cual es previa a toda formulación enunciativa o lingüística de los hechos: “Sería una coincidencia ridícula si, una y otra vez, dos procesos físicos totalmente diferentes produjeran configuraciones visuales que fueran, no obstante, artefactos de esos procesos físicos y no estructuras reales de la célula.” (1983, p. 230).

Si bien este argumento puede proporcionar una sólida disposición realista hacia las entidades observadas con los microscopios, cabe preguntarse si este puede extrapolarse a la simulación-básica (Diagrama 4): ¿Sería una coincidencia ridícula si, una y otra vez, dos (o más) modelos computacionales ( $E_N$ ), contruidos con técnicas y teorías heterogéneas entre sí, sintetizaran representaciones virtuales ( $F_N$ ) idénticas? ¿Es la estricta coincidencia de estas un argumento válido para determinar el grado de realismo de las entidades virtuales?



Diagrama 4: Proceso de representación con simulaciones-básicas.

Vistas las complejidades internas de los procesos de cómputo ( $E_N \rightarrow F_N$ ), parece que la respuesta no puede ser, a priori, afirmativa. Por una parte, los procesos físicos que ocurren dentro de un microscopio ( $M_N \rightarrow Y_N$ ), aunque se basen en técnicas y teorías muy heterogéneas entre sí, pueden ser comprendidos en todos sus elementos epistemológicamente relevantes, cosa que no ocurre en las simulaciones-básicas ( $E_N \rightarrow F_N$ ). Si nos preguntamos si los resultados del proceso computacional son los lógicamente derivables del modelo que lo subyace, nos encontramos con el problema de la *opacidad epistémica*: no somos capaces de justificar todas y cada una de las inferencias lógicas computadas y, por ende, no podemos justificar de la misma manera el realismo virtual de entidades. Estas son, ciertamente, ontológicamente distintivas con respecto a las observadas con un microscopio, los cuales construyen “imágenes” a partir de la interacción con el *mundo natural*<sup>13</sup>, a diferencia de las simulaciones, que producen “imágenes” a partir de la interacción con el modelo computacional. Siguiendo a Humphreys (2011): “las imágenes que producen las simulaciones computacionales están deliberadamente construidas, y la ‘estructura’ supuestamente invariante es producto de la ingeniería” (p. 23, trad. Prop.)

Según Parker (2009), un experimento es “una actividad de investigación en la cual se interviene en un sistema para ver cómo las propiedades que nos interesan cambian a partir de dicha intervención” (p.487). En cambio, las simulaciones son totalmente sintéticas, no son formas *a priori*, sino productos de manipulaciones simbólicas y lenguajes informáticos que hay que formalizar y que modifican nuestra relación con lo natural, estructurándolo de otra manera. En ellas, los sistemas tecnológicos son *constituyentes* de un espacio de construcción simbólica, no son sólo instrumentales. Y ello no sólo invalida la extrapolación del argumento de la correspondencia múltiple de representaciones, sino también el *argumento de la intervención* de Hacking<sup>14</sup>. Sin embargo, las entidades

<sup>13</sup> Siguiendo a Peschard (2013), se podría decir entonces que se interactúa con el sistema objeto y se le da la oportunidad de expresarse por medio de los efectos causales de los instrumentos.

<sup>14</sup> Este supone el criterio de causalidad, es decir, el poder transformar el mundo a través de las propiedades causales de las entidades. Cuando este se refiere a entidades teóricas está pensando en células, electrones, genes, cuántares, agujeros negros, etc., que forman parte de las teorías.

virtuales son de naturaleza distinta a las referidas por Hacking, como hemos dicho anteriormente: no pueden afectar causalmente al mundo natural, al menos de la misma forma. Por eso son *virtuales*, en el sentido de Quéau (1995).

Ahora bien, esto no quiere decir que las entidades virtuales no sean reales. De hecho, podemos argumentar que algunas de ellas se refieren a entidades existentes en el mundo natural: no todas son ficciones. Los electrones son reales, según Hacking, porque podemos intervenir con ellos en el mundo físico, pero si queremos realizar una simulación de un sistema cuántico se debe ahorrar el electrón teórico de forma que este sea una representación ajustada a la capacidad de cómputo disponible y los propósitos específicos de esa simulación. El electrón, entonces, no sólo se ha tornado experimental: también ha pasado a ser virtual. Su realismo, ciertamente, no es el mismo que el de las “ficciones útiles” a las que se refieren Winsberg y Mirza (2018).

Humphreys se aproximó a esta cuestión adoptando un *realismo selectivo de entidades* a la hora de construir plantillas computacionales, distinguiendo cuáles se construyen de forma fidedigna y cuáles de forma instrumental (2004, pp. 82-85). Su mención al respecto es breve y se focaliza en las entidades que se pretenden modelizar de forma realista, sin cuestionar la previa disposición que uno pueda adoptar hacia las propias entidades teóricas. Tampoco atiende a las transformaciones que puede sufrir una entidad a lo largo de todo el proceso de simulación, pues se centra en la construcción de plantillas, que son uno de la 6-upla de elementos constituyentes de los modelos computacionales. Por nuestra parte, creemos que lo importante no es demarcar lo real de lo irreal, sino definir diversos *grados* de realidad y, a poder ser, delimitarlos (Echeverría, 2018).

Ulises Moulines afirmó que “son filosóficamente relevantes las distinciones conceptuales que atienden sólo a diferencias de grado y no a diferencias absolutas en el objeto o dominio de estudio” (1987, p. 32). Siguiendo este principio y contrariamente a lo que podríamos denominar *concepción heredada en ontología de la ciencia*, según la cual la diferencia entre lo real y lo irreal es absoluta, afirmamos que las entidades virtuales pueden poseer distintos grados de realidad. Este *realismo gradual* permite distinguir a entidades más reales que otras, considerando aquéllas que han sido virtualizadas y tienen su correspondencia en teorías científicas y, quizás, también en el mundo natural. Bajo la perspectiva de Hacking, por ejemplo, la consideración del realismo gradual permite distinguir aquellas que también pueden manipularse experimentalmente, así como entidades teóricas no manipulables y entidades deliberadamente ficticias. También permite atender al modo en que se han ahorrado todas las entidades en el modelo computacional -las credenciales en las técnicas de modelización empleadas-, así como atender a las transmutaciones

que “experimentan” durante todo el proceso iterativo de simulación. Aunque pueda haber entidades construidas de forma verosímil, una célula-virtual puede considerarse más real que un quásar-virtual, siendo ambas entidades teóricas. Para Hacking, la primera sería real, pero se dispondría a un mayor escepticismo para la segunda y, por supuesto, plenamente anti-realista hacia las ficciones construidas con fines instrumentales.

Los tecnomundos virtuales podrían considerarse entonces como mundos tecnológicos híbridos que entremezclan lo real y ficticio en distintos grados, subsumidos en una misma virtualidad. Las técnicas de digitalización y de virtualización colocan en el mismo plano toda la información, sea cual sea su grado de abstracción y, teóricamente, permiten todos los pasos posibles para obtener nuevo conocimiento científico, cualquiera que sea su dosificación o mezcla de naturaleza y artificio. Por lo tanto, las entidades virtuales no deben considerarse como reales o irreales, sino que deben cotejarse en su contexto, considerando los aspectos técnicos y tecnológicos agregados que influyen a su grado de realismo. Por eso decimos que el realismo virtual es una controversia superpuesta al realismo científico, también desde la perspectiva ontológica.

## Conclusiones

En este artículo hemos explorado si las simulaciones computacionales presentan novedades filosóficas dentro del debate del realismo científico. Hemos partido de la caracterización que Hacking postuló en *Representar e Intervenir* (1983), argumentando la conveniencia de adoptar un enfoque praxeológico dado el carácter humanamente ilegible de los procesos llevados en lenguaje máquina. En la actualidad existen muchos tipos de simulación, nosotros aquí nos hemos centrado en las que pueden constituir una problemática superpuesta al realismo en ciencia: aquellas con fines explicativos y referidas a sistemas-objeto inaccesibles experimentalmente. Siguiendo las dos perspectivas referidas por Hacking (epistemológica y ontológica), afirmamos que estas simulaciones sugieren una controversia añadida, que denominamos *realismo virtual* y surge al considerar al menos las siguientes cuestiones:

- (i) Estas simulaciones suponen una práctica científica con características distintivas a la teorización y la experimentación, generando conocimiento a través de las nuevas potencialidades de las TIC. Estas constituyen tecnomundos virtuales que *sustituyen* a los mundos

naturales como objetos de estudio y permiten inferir conocimiento susceptible de ser cuestionado por su realismo.

- (ii) En su vertiente epistemológica, la literatura se refiere a las simulaciones en términos de “confiabilidad” en función del objetivo con el que se construyen, en lugar de en términos de “verdad” (Winsberg 2006). A pesar de que compartimos esta terminología para referirse a las simulaciones en general, aquellas que en concreto inducen explicaciones causales parciales (Weirich 2011, 2013), son susceptibles de ser cuestionadas por su verdad, en función de las técnicas e intervenciones previas que se realizan durante todo el proceso de simulación. Probablemente, Hacking adoptaría un posicionamiento anti-realista, pero algunos trabajos como el de Graham Kennedy (2012) podrían replantear la cuestión y defender una postura realista en términos, por ejemplo, de simulaciones *parcialmente* verdaderas.
- (iii) En su vertiente ontológica, los tecnomundos virtuales son mundos tecnológicamente híbridos en los que surgen entidades susceptibles de ser consideradas en distintos grados de realidad. Humphreys (2004) propuso un realismo selectivo de entidades en plantillas computacionales. Nosotros hemos defendido la conveniencia de adoptar un *realismo gradual* que permita esclarecer distintos niveles de realidad entre todos los tipos de entidades virtuales y a lo largo de todo el proceso de simulación. Aunque los argumentos pragmáticos de Hacking pueden seguir siendo válidos en lo referido a entidades teóricas, creemos que tanto el *argumento de la intervención* como el de la *correspondencia múltiple de representaciones* no son extrapolables a los tecnomundos: no hay una interacción causal directa con el objeto de estudio y, a diferencia de los procesos internos constituyentes de micrografías, los procesos de cómputo son, en mayor o menor medida, epistémicamente opacos (Humphreys 2009).

En definitiva, se ha defendido que la controversia del realismo científico puede, de forma complementaria, ampliarse a la práctica con simulaciones, especialmente aquellas referidas en este trabajo. La caracterización propuesta del *realismo virtual* refiere al conocimiento inferido por simulación, que es dependiente del realismo del corpus teórico-científico utilizado para modelizarla, pero también de la credibilidad depositada en las técnicas de modelización y simulación, así como de la confiabilidad de los procesos de cómputo (Durán y Formanek 2019). En este sentido, las simulaciones computacionales juegan un papel diferente a la experimentación, y el realismo virtual no puede argumentarse

en los mismos términos que en la experimentación. Las diversas modalidades de lenguajes informáticos utilizados, tanto para la comunicación humano-máquina como máquina-máquina, presentan elementos filosóficos diferenciales con respecto a los lenguajes matemáticos empleados por las ciencias modernas y en la construcción de instrumentos tradicionales. Permiten entremezclar cada vez más estrechamente lo real y lo ficticio, plantean nuevos interrogantes sobre nuestra capacidad de aprehensión del mundo y sobre el impacto mismo de los métodos empleados, convirtiendo el estudio de los tecnomundos en una empresa de genuino interés filosófico y sugiriendo, en lo que aquí nos ha concernido, una controversia superpuesta a la del realismo en ciencia.

### Agradecimientos

Deseamos agradecer a Jaume Navarro Vives, Iñaki San Pedro y Sergio Urueña López los estimables comentarios y sugerencias que han aportado durante la elaboración de este trabajo, así como la labor del equipo editor de *Argumentos de Razón Técnica*.

### Referencias bibliográficas

- Broncano, F. (2000), *Mundos artificiales*, México: Editorial Paidós.
- Colburn, T, Shute, G. (2007), “Abstraction in Computer Science”, *Minds and Machines*, 17(2):169-184.
- Durán (2018), *Computer Simulations in Science and Engineering: Concepts, practices, perspectives*. Stuttgart: Springer.
- Durán, J.M., Formanek, N. (2019), “Grounds for Trust: Essential Epistemic Opacity and Computational Reliabilism”, en *Minds and Machines* 28:645-666.
- Echeverría, J. (2018), The Philosophy of Technoworlds and Technopersons. En B. Laspra y J.A. López Cerezo (Ed.), *Spanish Philosophy of Technology* (Part IV). Switzerland.: Springer.
- (2001), “Virtualidad y grados de realidad”, en *Daimon Revista Internacional de Filosofía*, (24), pp. 23-30.
- (1998), “Similaridades, isomorfismos y homeomorfismos entre representaciones científicas”, en *Theoria*, 13(1):89-112.
- Giere, R. (2009), “Why Scientific Models Should Not be Regarded as Works of Fiction”, en Mauricio Suárez (ed.): *Fictions in Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealisation*, London: Routledge, 248–258.

Giri, L. Miguel, H. (2018), “El modelo de simulación como generador de explicaciones causales”, en *Theoria* 33/1: 111-128.

Graham Kennedy, A. (2012), “A non representationalist view of model explanation”, en *Studies in History and Philosophy of Science*, Vol 43, Issue 2, pp. 326-332.

Hacking, I. (2013). “Ensayo preliminar” en *La estructura de las revoluciones científicas* (Kuth, T.), México: Fondo de Cultura Económica.

— (1999), “The Self-Vindication of the Laboratory Sciences”, en Pickering, A. (Ed.), *Science as practice and culture*, Chicago: University of Chicago Press. 29-64.

— (1992). “Do Thought Experiments have a Life of Their Own?” *PSA* (Volume 2), A. Fine, M. Forbes and K. Okruhlik (eds.), East Lansing: The Philosophy of Science Association, 302–10.

— (1988), “On the Stability of the Laboratory Sciences,” *The Journal of Philosophy*, 85: 507–15.

— (1983), *Representing and Intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.

— (1981), “Do We See Through a Microscope?”, *Pacific Philosophical Quarterly*, 63: 305-322.

Hartmann, S. (1996), “The World as a Process: Simulations in the Natural and Social Sciences”, en R. Hegselmann, et al. (eds.), *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, Dordrecht: Kluwer, 77–100.

Hughes, R., 1999. “The Ising Model, Computer Simulation, and Universal Physics,” in M. Morgan and M. Morrison (eds.), *Models as Mediators*, Cambridge: Cambridge University Press.

Humphreys, P. (2019), *Philosophical Papers*, New York: Oxford University Press.

— (2011) “What are Data About?”, en *Computer Simulations and the Changing Face of Scientific Experimentation* (Ed. Durán J.M., Arnold, E.), 12-29.

— (2009) “The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods”, en *Synthese*, 169(3): 615-626.

— (2004), *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. New York: Oxford University Press.

— (1990). “Computer Simulation,” in A. Fine, M. Forbes, and L. Wessels (eds.), *PSA 1990* (Volume 2), East Lansing, MI: The Philosophy of Science Association, 497–506.

Morrison, M (2015), *Reconstructing Reality: Models, Mathematics and Simulations*. New York: Oxford University Press.

- Moulines, U. (1987), *Exploraciones metacientíficas*, Madrid: Alianza.
- Parker, W. (2009), “Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments and Materiality”, *Synthese*, 169(3): 483-96.
- Peschard, I. (2013) “Modeling and Experimenting”. *Models, Simulations, and Representations*, 9.
- Quéau, P. (1995), *Lo virtual: Virtudes y vértigos*, Barcelona: Editorial Paidós.
- Quintanilla, M.A. (1985), “El concepto de verdad parcial”, en *Theoria*, nº1, pp. 129-141.
- Teller, P. (2009), “Fictions, Fictionalization, and Thruth in Science”, in Mauricio Suárez (ed.): *Fictions en Science. Philosophical Essays on Modelling and Idealisation*, London: Routledge, 235-247.
- Turner, R., Angius, N. (2019), “The Philosophy of Computer Science”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/computer-science/>>.
- Weirich, P. (2011), “The explanatory power of Models and Simulations: A Philosophical Exploration” en *Simulation and Gaming*, 42: 149-170.
- (2013), “Models as Partial Explanations” en Andreas Tolk (Ed.) *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modelling and Simulation: A Philosophical Foundations for Intelligent M&S Applications*. 105-119, Berlin: Springer-Verlag.
- Winsberg, E. (2019), “Computer Simulations in Science”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <<https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/simulations-science/>>.
- (2010), *Science in the Age of Computer Simulation*. U.S.A: The University of Chicago Press.
- (2006), “Models of Success Versus the Success of Models: Reliability without Truth”, en *Synthese* 152 (1): 1-19.
- Winsberg, E., Mirza, A. (2018), Success and Scientific Realism: Considerations from the Philosophy of Simulation. En J. SAATSI (Ed.), *The Routledge Handbook of Scientific Realism* (Part III, 20). UK.: Routledge.