

EXPERIMENTACION Y TECNICAS COMPUTACIONALES†

(*Computational techniques and experiment*)

Marisa VELASCO*

* Escuela de Filosofía, Facultad de Filosofía y Humanidades, Universidad Nacional de Córdoba, Pabellón Francia, Ciudad Universitaria, 5000 Córdoba, Argentina.
E-mail: marisa@ffyh.unc.edu

BIBLID [0495-4548 (2002) 17: 44; p. 317-331]

RESUMEN: Las simulaciones computacionales resultan hoy útiles herramientas de la vida experimental. Su novedad y su continuado desarrollo hacen muy difícil comprender su relevancia epistémica. En este trabajo se presenta una primera evaluación a través de un paralelismo entre las simulaciones computacionales y los experimentos mentales. Se analizarán tanto las simulaciones que desempeñan el rol de auténticos experimentos, como las que forman parte de experimentos reales, ya que ambas son importantes para comprender los experimentos contemporáneos. Pero las simulaciones que forman parte de experimentos pueden mostrar especialmente una nueva faceta de la compleja relación teoría-experimento.

Descriptorios: simulación computacional, experimento, experimento mental, relaciones teoría-experimento.

ABSTRACT: *Computational simulations are now useful tools in experimental life. Their novelty and continuous development make it very difficult to understand their epistemic relevance. In this paper a first evaluation of them is presented through a parallel between thought experiments and computational simulations. Both simulations that play the role of actual experiment and also simulations that are part of experiments will be under scrutiny, since both of them are important in the understanding of contemporary experiments. But simulations as parts of actual experiments can especially show a new face in the complex relation theory-experiment.*

Keywords: *computer simulation, experiment, thought experiment, relation theory-experiment.*

SUMARIO

1. Las técnicas computacionales
 2. Las simulaciones computacionales
 3. Simulaciones computacionales y experimentos imaginarios
 - 3.1. Las simulaciones como experimentos
 - 3.2. Las simulaciones como parte de experimentos
 4. Una perspectiva general
- Bibliografía

Las computadoras, con la gran variedad de técnicas asociadas a ellas, son parte de la actividad científica desde hace muchos años. En las últimas dé-

cadras ha crecido notablemente la variedad de este tipo de técnicas y se han diversificado las funciones de las mismas dentro de la ciencia. Esta diversidad, y su continuo desarrollo, hace que una evaluación general resulte hoy una tarea excesivamente ambiciosa. Sin embargo, dado el innegable impacto que estas técnicas han tenido dentro de la actividad científica, en este trabajo me propongo realizar una primera aproximación a la temática, focalizándome particularmente en las técnicas de simulación y el modo en que han afectado la actividad experimental.

Durante las últimas dos décadas la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia, particularmente la epistemología de la experimentación¹, han realizado grandes esfuerzos dirigidos a elucidar qué es la experimentación y cuál o cuáles son sus funciones dentro de la actividad científica. Aunque tal tarea está lejos de haber sido completada, el aporte más destacable de estas investigaciones es la explicitación de la complejidad involucrada en cualquier intento de llevar adelante esta elucidación. Dicha complejidad se ha visto profundizada con la incorporación de técnicas computacionales dentro de la actividad científica. Las técnicas computacionales hoy forman parte de la actividad experimental y, tal como trataré de mostrar, las simulaciones computacionales no sólo son utilizadas a modo de experimentos, sino que, en algunas ocasiones, son parte de experimentos reales. Aunque a primera vista el hecho que las simulaciones sean parte de experimentos pueda parecer subsidiario respecto al hecho de utilizarlas a modo de experimentos, veremos que epistemológicamente es más compleja la evaluación del segundo uso de las simulaciones que del primero. Así, atendiendo a este aspecto de la actividad experimental contemporánea, es necesario reformular preguntas clásicas dentro de la epistemología, y revisar viejas categorías. Este trabajo se propone hacer explícitas estas preguntas y mostrar cómo algunas de las categorías tradicionales no permiten dar cuenta de este cambio en las prácticas experimentales que afecta especialmente el modo en que se justifican sus resultados, así como las relaciones entre prácticas experimentales y teorías.

En la primera parte realizaré algunas observaciones breves sobre las técnicas computacionales dentro de la actividad experimental según sus funciones. En la segunda parte, aprovechando ciertas similitudes aparentes entre simulaciones computacionales y experimentos imaginarios, me ocuparé de aquellas simulaciones que son utilizadas a modo de experimentos. En la tercera parte, también usando el paralelismo señalado me ocuparé de aquellas simulaciones que son parte de experimentos. Por último, intentaré una evaluación general del impacto que tiene la utilización de técnicas compu-

tacionales dentro de las prácticas experimentales y en qué modo este nuevo rasgo afecta el proyecto de desarrollar una epistemología de la experimentación.

1. Las técnicas computacionales

Dada la diversidad de técnicas asociadas con las computadoras, las clasificaré, según su rol, en dos grandes grupos. Esta clasificación sólo tendrá fines analíticos, ya que no es posible trazar una clara distinción entre ambos grupos. El primer grupo comprende aquellas técnicas en las que las computadoras cumplen el rol de instrumentos de ayuda para la investigación. El segundo grupo comprende las técnicas en las que podemos decir que, si se me permite la metáfora, tomamos la 'computadora como naturaleza'². Dentro de este segundo grupo se encuentran a su vez las que conocemos como técnicas de simulación.

La computadora como instrumento dentro de la actividad científica tiene una historia muy interesante. Una historia, que en muy pocas palabras, podría resumirse como el proceso que va de la computadora como ayuda para la tarea del científico a la computadora como científico. Esta es una historia muy rica tanto en sus aspectos epistemológicos como en sus aspectos sociológicos. En diversas áreas de conocimiento muchos desarrollos parecen tener como objetivo la construcción de sistemas computacionales que ejecuten tareas antes realizadas por científicos humanos. Las tareas en las que se han ido sustituyendo a los científicos humanos por 'científicos computadoras' han explotado en un primer momento la capacidad de cálculo de la computadora, luego las capacidades de cálculo asociadas con la búsqueda de patrones y finalmente existen cada vez más intentos de 'computarizar' las actividades que involucran mayor profundidad teórica. Dicho brevemente, el desarrollo de los sistemas computacionales parece seguir una dirección que va del cálculo mecánico a la producción de inferencias.

Es interesante destacar que es posible encontrar diferentes líneas de investigación que tienen como objetivo común el desarrollo de computadoras que realicen tareas clásicamente realizadas por científicos, aunque estas líneas han tenido entre sí escasa interrelación. Dos ejemplos pueden servir para ilustrar estas diferencias. Como primer ejemplo puede citarse la línea de descubrimiento científico computacional iniciada por Herbert Simon³ que tiene una impronta fundamentalmente cognitivista y psicologista. Un segundo ejemplo lo constituye la línea que se desarrolló dentro de los propios laboratorios experimentales, donde la sustitución de hombres por

máquinas se realiza fundamentalmente en función de los resultados y no por simulación del modo en que los humanos realizan esa tarea⁴. Sin embargo, en este trabajo no me ocuparé de ninguna de estas líneas sino principalmente de la computadora 'como naturaleza'. Ciertos aspectos de la incorporación de este último rol para la computadora dentro de la actividad experimental están íntimamente relacionados con la historia del desarrollo de la computadora como instrumento. No obstante, sólo a los fines de la argumentación, supongo aquí que ambas funciones pueden distinguirse, y me ocupo particularmente de la segunda. Utilizo la expresión 'computadora como naturaleza' en sentido metafórico que sólo pretende distinguir funcionalmente algunos usos de la computadora dentro de la actividad científica. Sin embargo, existen otros usos de la expresión asociados con la problemática de la 'computabilidad de la naturaleza' o de la 'naturaleza como computadora' que no serán parte de este trabajo.

Veremos, sin embargo, que aún restringiéndonos a la computadora como naturaleza, nos encontraremos con diferentes tipos de simulaciones según el modo en que se usan. En el primer tipo de simulaciones éstas tienen el papel de experimentos. En el segundo, las simulaciones son parte de experimentos.

2. Las simulaciones computacionales

Las simulaciones, en tanto técnicas imitativas, son previas a la computadora digital. En términos generales se entiende que las simulaciones tienen el objeto de 'imitar' de algún modo lo que quiere ser comprendido. Como ejemplo de simulaciones en sentido amplio podemos incluir lo que clásicamente se han denominado modelos icónicos. Pero aquí no me ocuparé de este tipo de simulaciones, sino de aquellas simulaciones que se desarrollan a través de una computadora. En este contexto debe tenerse en cuenta que 'imitación' tiene un sentido bastante particular, en el que se prescinde del isomorfismo entre lo simulado y la base física en la que se desarrolla la simulación, puede prescindirse de ciertas complejidades del fenómeno simulado y, aún más, las simulaciones pueden desarrollarse como modelos contrafácticos. De aquí que las simulaciones puedan privilegiar distintos aspectos, por ejemplo algunas privilegian propiedades estructurales, otras relaciones causales. También hay que señalar que las relaciones entre lo simulado y la simulación pueden tener un menor o mayor grado de idealización. Los límites del concepto resultan por demás difusos, al punto que los científicos utilizan de manera intercambiable 'modelo' y 'simulación'.

Para agregar más confusión aún, estos mismos científicos utilizan, además, la palabra modelo para muchas cosas a las que difícilmente llamaríamos simulación. Sin embargo, aunque el concepto parezca difuso, y aunque no comprendamos su estatus epistémico, ante casos paradigmáticos parece que podemos saber cuándo estamos frente a una simulación.

Para citar sólo algunos ejemplos de esta amplia variedad de simulaciones podemos hacer referencia al gran número de simulaciones producidas dentro de lo que se ha dado en llamar Vida Artificial -que intentan simular las interacciones entre medio ambiente y organismos vivos, aspectos parciales de la evolución, interacción entre organismos, formas diversas de adaptación, etc.-, las simulaciones del desarrollo de estrellas, los procesos de decisión de una organización, o los procesos de colisión entre partículas de altas energías, entre muchos otros.

3. Simulaciones computacionales y experimentos imaginarios

3.1. Las simulaciones como experimentos

Dado el amplio espectro de simulaciones computacionales y el escaso tratamiento epistemológico de las mismas, intentaré analizar su estatus epistémico utilizando una categoría clásica dentro de la filosofía de la ciencia, la de 'experimentos imaginarios'. La estrategia consistirá en determinar hasta dónde es posible considerar a las simulaciones computacionales como experimentos imaginarios. Es conocida la diversidad de perspectivas desde las que han sido abordados los experimentos imaginarios⁵. A continuación se ofrece un listado -obviamente no exhaustivo- de las interpretaciones que han recibido los experimentos imaginarios. He elegido estas interpretaciones porque se diferencian especialmente por el rol que asignan a los mismos:

a) Los experimentos mentales son una condición previa y necesaria de la experimentación física (Mach 1905); b) permiten una reorganización conceptual porque, o bien ayudan a superar cierta confusión conceptual o ponen de manifiesto que nuestras teorías no ajustan bien con parte de nuestro *background* de datos (Kuhn 1964); c) tienen un uso heurístico, crítico y apologético, aunque sólo los dos primeros son usos legítimos (Popper 1962); d) son una forma idealizada de realizar experimentos que nos provee de conocimiento *a priori* (Koyré 1960, 1966); e) son formas argumentales, que involucran principalmente contrafácticos o conocimiento hipotético para que no sean sólo descripciones de estados de cosas reales (Norton 1991); f) los

experimentos imaginarios, a diferencia de los argumentos lógicos y otras formas de razonamiento proposicional, son razonamientos que involucran la construcción y realización de inferencias a partir de una simulación mental (Nersessian 1992); g) proveen nuevo conocimiento que involucra un incremento en la comprensión de las condiciones bajo las cuales un modelo teórico se sostiene (Humphreys 1993).

Recordemos aquí el tipo de preguntas que generaron estas diferencias en las interpretaciones. ¿Puede un experimento imaginario producir conocimiento nuevo? ¿Cuál es la función de los experimentos imaginarios? ¿Cuál es la relación de los experimentos imaginarios con los experimentos reales? Las respuestas a estas preguntas, tal como puede verse en listado anterior, han variado desde los más rancios racionalismos hasta el más recalciante de los empirismos⁶.

Ciertas analogías entre experimentos imaginarios y simulaciones ya han sido sugeridas por varios autores, como Simon, Humphreys o Di Paolo⁷. Sin embargo, debe señalarse una primera diferencia importante entre simulaciones y experimentos imaginarios. Las simulaciones vistas desde la perspectiva de los experimentos imaginarios son experimentos imaginarios implementados dinámicamente. Es en este sentido que Hartmann (1996) define a las simulaciones como aquellos procesos a través de los cuales se imitan otros procesos. Para este autor 'proceso' aquí sólo remite a que el modelo está diseñado para imitar la evolución en el tiempo de un sistema real. Tomando esta definición de simulación podemos decir que cuando la simulación se realiza en una computadora nos encontramos frente a una simulación computacional. He elegido esta definición por tratarse de una definición con carácter general que no se apoya sólo en un rasgo que poseen algunas simulaciones, como puede ser el hecho de que no puedan seguirse analíticamente⁸.

Volviendo a la analogía planteada entre simulaciones y experimentos imaginarios, las preguntas anteriores se pueden reformular de la siguiente manera: ¿Pueden las simulaciones computacionales generar conocimiento nuevo? ¿Cuál es la función de las simulaciones en ciencia? ¿Cuál es la relación entre las simulaciones y los experimentos reales?

En cuanto a la primera pregunta, sin duda la más importante de las tres, ha sido recurrente la posición que sostiene que las simulaciones computacionales no hacen más que lo que los programadores quieren que hagan, en consecuencia el conocimiento que puede obtenerse no puede ser diferente de aquel que está presupuesto en su construcción. Es difícil evaluar estas sugerencias y no hay un acuerdo en la literatura sobre la limitación de las

computadoras en cuanto a lo que pueden simular. Es claro que, puesto que se admite que existen programas de computadoras que son tan complejos que su estado futuro no puede ser predicho por otra computadora o por un sistema natural, la noción misma de 'conocimiento nuevo' debe ser mejor precisada. ¿Es nuevo lo que no podemos predecir? o ¿es nuevo lo que no puede computar una máquina? No tenemos evidencias de que la naturaleza esté más allá de cualquier sistema computacional y tampoco depende el impacto de las técnicas computacionales sobre la experimentación de que nuevo signifique incomputable. Nuevo como impredecible basta para este propósito.

Retomemos la pregunta de un modo más radical: si las premisas son conocidas, -o de un modo más específico para el caso en cuestión, si son conocidos el *input* y las estructuras del sistema-, ¿el resultado no puede constituir un descubrimiento empírico? Me gustaría apuntar algunas características que pueden tener estas simulaciones, y que en parte responden a la crítica anterior. Las simulaciones pueden permitirnos explorar los alcances y las limitaciones de los modelos teóricos, porque por ejemplo nos permiten variar los parámetros de la simulación hasta un punto tal que las mismas tengan un carácter netamente contrafáctico. Pero también permiten explorar situaciones escasamente conocidas, produciendo un mejor conocimiento de estas situaciones. Esto puede hacerse a través de modelos muy simplificados, que suponen un alto grado de idealización, o a través de modelos muy complejos que pretenden disminuir al máximo tal idealización. Además, las simulaciones permiten tratar situaciones con un grado de complejidad tal que hace difícil o imposible su tratamiento a través de otras técnicas analíticas. En estos casos decir que el producto de las simulaciones está presupuesto en su construcción tiene un sentido extremadamente débil. Finalmente, el desarrollo de sistemas que aprenden coloca a la crítica anterior en una situación aún más comprometida.

Por último, otra respuesta a la crítica señalada proviene de las simulaciones computacionales del campo de la Vida Artificial. Estas simulaciones, se sostiene, producen nuevo conocimiento pues el sistema computacional tiene como *output* 'propiedades emergentes' no codificadas originalmente. El argumento tiene las ventajas y las dificultades del conocido argumento análogo utilizado para rechazar el reduccionismo en el campo de la biología.

Por todo lo señalado la respuesta a la primera pregunta, si las simulaciones pueden producir conocimiento nuevo, es afirmativa, al menos en un sentido limitado de 'nuevo'. Cognitivamente podría señalarse una intere-

sante diferencia entre las simulaciones computacionales y los experimentos imaginarios. Las premisas de un buen experimento imaginario, que en general se encuentran expresadas explícitamente, parecen llevar directamente a la conclusión. Sin embargo, en una simulación computacional determinar el tipo de premisas involucradas requiere un análisis especial de la codificación y el modo en que el sistema funciona. Este rasgo llevó a que las simulaciones computacionales recibieran el nombre de "*experimentos imaginarios opacos*" (Di Paolo, Noble, Bullock 2000).

Ahora bien, aceptando que las simulaciones computacionales producen conocimiento nuevo, la pregunta que nos vemos obligado a responder inmediatamente es qué tipo de conocimiento generan las simulaciones computacionales. Una primera respuesta, que se sigue de lo anterior, es que producen conocimiento teórico. Es decir, involucran manipulación y refinamiento teórico. Sin embargo, las simulaciones nos permiten también obtener conocimiento acerca de situaciones poco conocidas. Además, en la práctica, en algunas ocasiones, ocupan el lugar de experimentos reales. En este último sentido podemos decir que las simulaciones computacionales nos permiten establecer vínculos entre nuestras teorías y el mundo. Esto sugiere un camino de respuesta a nuestra segunda y tercer pregunta, ¿cuál es la función de las simulaciones en ciencia?, y ¿cuál es la relación entre las simulaciones y los experimentos?

La perspectiva de los experimentos imaginarios parece apropiada para el análisis de las simulaciones computacionales que tienen las funciones descritas -esto es, la de explorar y refinar los modelos teóricos, o de aquellas que cumplen el rol de los experimentos reales. Esta última situación se da particularmente cuando no pueden realizarse experimentos reales por razones éticas, o por razones de seguridad, o cuando su ejecución se encuentra fuera de la capacidad experimental del momento.

Nótese que nuestras respuestas a las preguntas anteriores sólo han descartado la utilización de algunas posiciones extremas en la interpretación de los experimentos imaginarios para el análisis de las simulaciones computacionales. Por ejemplo, no podría sostenerse la analogía para aquellas interpretaciones que afirman que los experimentos imaginarios producen sólo conocimiento *a priori*, o aquellas que reducen los experimentos imaginarios a argumentos contrafácticos. En otras palabras, las simulaciones computacionales, en este contexto, pueden entenderse desde la perspectiva de los experimentos imaginarios siempre que estos últimos no se interpreten tal como lo hacen Koyré o Norton. Sin embargo, nuestras respuestas aún son compatibles con una amplia gama de interpretaciones acerca de los

experimentos imaginarios, siempre que las mismas no se interpreten como excluyendo a algunas de sus rivales. Las simulaciones computacionales permiten una reorganización conceptual -tal como sostuvo Kuhn para los experimentos imaginarios- siempre que esto no implique que esta es su única función, pues estaríamos negando el rol de experimentos para las simulaciones computacionales.

En el próximo apartado veremos que una caracterización del tipo de simulaciones que forman hoy parte inextricable de la actividad experimental en física de altas energías o en química o en biología pondrá de manifiesto que la caracterización de las simulaciones en términos de experimentos imaginarios resulta, por lo menos, insuficiente.

3.2. Las simulaciones como parte de experimentos

A partir de la década de los 60 paulatinamente fue incrementándose el uso de simulaciones computacionales dentro de la práctica experimental. Las herramientas matemáticas que permitieron el desarrollo de estas simulaciones se remontan por lo menos a la década de los 40. En realidad muchas de las ideas matemáticas en las que se sustentan las simulaciones son muy anteriores a la década '40, pero recién cobraron relevancia cuando pudieron ser implementadas computacionalmente.

A partir de la década de los 80 se ha vuelto inimaginable diseñar, realizar e interpretar experimentos de altas energías sin simulaciones [Monte Carlo], como lo sería proceder sin un detector físico (Galison 1997, p. 779).

Las simulaciones computacionales son parte de la actividad experimental de diversas maneras. Son parte del diseño de experimentos, son parte del tratamiento de datos, son parte de la calibración de instrumentos, son parte del diseño de instrumentos, etc. Podríamos agrupar a las simulaciones de la siguiente manera, aunque no se trata de una clasificación exhaustiva y además podemos encontrar simulaciones que pertenezcan a más de una categoría:

- Simulaciones para manipular equipos: los experimentos reales suelen estar precedidos por simulaciones que facilitan el aprovechamiento de instrumental disponible.
- Simulaciones que tienen principalmente la función de herramienta de cálculo.
- Simulaciones que generan modelos y eligen entre ellos según los criterios establecidos en la simulación.

- Simulaciones que a través de sucesivas ejecuciones con variaciones de parámetros permiten determinar el nivel de incidencia de ciertos factores en el fenómeno a estudiar.
- Simulaciones que permiten analizar datos obtenidos por vía experimental.

La historia de los experimentos que llevaron al descubrimiento de las corrientes neutras durante la década de los 70 muestra simulaciones que cumplen cada una de las funciones descritas¹⁰.

Algunas de las funciones citadas arriba parece que podrían ser interpretadas, a través de nuestra analogía, como experimentos imaginarios cuya función es la de explorar los modelos teóricos. Una primera dificultad que surge para esta interpretación es que en muchos casos estas simulaciones no pueden seguirse analíticamente sencillamente porque son demasiado complejas. Por otra parte, las simulaciones que han adquirido mayor peso en la actualidad son aquellas que utilizan los llamados métodos de Monte Carlo¹¹. Estos métodos proveen soluciones aproximadas a ciertos tipos de problemas realizando 'experimentos' de muestreo estadístico a través de una computadora. El desarrollo continuo, así como la aplicación de estas técnicas comenzaron durante la producción de la bomba atómica en la II Guerra Mundial. En general, este tipo de simulaciones ha resultado de gran utilidad para el tratamiento de problemas que no eran abordables analíticamente y ha permitido el diseño de experimentos imposibles por otras vías. La gran eficiencia de este tipo de simulaciones para dar cuenta de fenómenos muy complejos se logra a costa de abandonar el ideal de resolución analítica. La eficacia de los métodos ha impuesto su uso y el desarrollo de la teoría de la complejidad computacional ha dado nuevas bases para su aplicación.

A través de las simulaciones que utilizan técnicas de Monte Carlo podemos percibir la complejidad del tema que estamos abordando. Cuando se utilizan estas simulaciones para experimentos en detectores de partículas los resultados de las mismas pueden ser vistos como resultados de simples cálculos, como manipulación teórica, o como heurística para el descubrimiento. En este último sentido, resultados sucesivos de Monte Carlo pueden mostrar un patrón que señala dónde es posible realizar el descubrimiento de una nueva partícula, o dónde es posible observar determinado proceso¹².

Obsérvese que en algunos de estos casos las simulaciones tienen una dimensión que en nuestro análisis del apartado anterior no podía apreciarse. Los datos que permiten diseñar experimentos son obtenidos a través de

simulaciones. En el propio diseño estos datos son tratados como si en realidad fueran datos obtenidos por vías 'no artificiales'. De aquí que los resultados obtenidos en experimentos reales no sólo estén mediatizados por simulaciones, son en buena medida producto de las mismas.

A partir de esto, ahora resulta aún más claro que reducir las simulaciones computacionales a formas de experimentos imaginarios, o una versión más débil, aplicar el mismo análisis a uno y otro caso, no puede hacerse bajo todas las interpretaciones que los experimentos imaginarios han recibido. En el apartado anterior dejamos de lado aquellas que reducían los experimentos imaginarios a conocimiento *a priori* o a meros argumentos contrafácticos. Ahora, con más argumentos que antes, debemos abandonar todas las interpretaciones que ven en la expresión 'experimentos imaginarios' un desliz semántico, colocando toda la fuerza de la interpretación en imaginario más que en experimento.

Adviértase que hemos abandonado ciertas interpretaciones de los experimentos imaginarios como estrategia para abordar las simulaciones computacionales. Este hecho no dice nada *per se* de estas interpretaciones en tanto interpretaciones de los propios experimentos imaginarios. Aunque seguramente la analogía entre experimentos imaginarios y simulaciones pueda sostenerse en un sentido más amplio y menos estratégico que el que he utilizado aquí. Así, asumiendo la variedad de experimentos imaginarios que ha mostrado la historia de la ciencia, es probable que como aproximación general deban dejarse de lado las mismas interpretaciones que hemos dejado de lado para las simulaciones computacionales. Esto sólo mostraría qué caminos parecen inadecuados para una caracterización de los experimentos imaginarios, no ofreciendo sin embargo una caracterización positiva de los mismos¹³, así como tampoco se destacarían las diferencias señaladas entre experimentos imaginarios y simulaciones computacionales.

4. Una perspectiva general

Hasta aquí hemos tratado de mostrar el modo en que las simulaciones computacionales son parte de la actividad experimental. Ha sido el propio uso de esas simulaciones el que nos ha obligado a dejar de lado buena parte de la analogía entre experimentos imaginarios y simulaciones. Las simulaciones según su uso producen nuevo conocimiento y el mismo, en muchos casos, cumple el mismo rol que aquel obtenido a través de experimentos reales. Sin embargo, aunque hemos enfatizado el 'rol de naturaleza' para las simulaciones lo hemos hecho desde la perspectiva del uso. No

hemos abordado otro nivel de análisis, el de los problemas ontológicos que producen los supuestos teóricos implícitos en las mismas. Los métodos de Monte Carlo, por ejemplo, se desarrollaron en el seno de un debate acerca de la naturaleza ontológica de este tipo de técnicas. Este debate aún continúa, aunque razones pragmáticas, basadas en la eficacia, han impuesto su uso. Sin embargo, a los fines de analizar el impacto que ha tenido este tipo de técnica en la práctica experimental podemos dejar de lado por ahora este debate.

Dos datos sociológicos ayudarán a dejar más claro hasta dónde la incorporación de técnicas computacionales ha modificado las prácticas experimentales. El primero de ellos es que no puede soslayarse que hoy muchas disciplinas cuentan con áreas especializadas como biología computacional, física computacional o química computacional. Estas áreas disciplinares se manifiestan a través de numerosas publicaciones periódicas de la especialidad. El otro dato es que las simulaciones computacionales han resultado ser uno de los mejores vehículos por los que se canalizan hoy las interacciones entre teóricos, ingenieros y experimentalistas.

Tomando la óptica de las simulaciones computacionales algunos aspectos de la relación teoría -experimentación pueden verse con otra perspectiva. Particularmente, cobran otra dimensión dos conceptos claves, el de aproximación y el de idealización. En una simulación computacional se realiza un recorte de los parámetros que tendrán relevancia. El modo en que se eligen y controlan los parámetros muestra el modo en que se aplican los conceptos de aproximación e idealización. Los resultados de estos recortes colocan a la simulación más cerca de la teoría o más cerca del experimento. Sin embargo, las simulaciones computacionales brindan nuevas posibilidades en este sentido y esto tiene impacto en dos conceptos claves para la filosofía de la ciencia, la simplicidad y la experimentación como control. Asimismo, en casos como el citado de los experimentos que llevaron a la aceptación de las corrientes neutras, los fenómenos son estabilizados a través de la comparación de los resultados obtenidos mediante sucesivas aplicaciones de Monte Carlo y los resultados obtenidos en laboratorio. Como podemos apreciar tenemos una nueva forma de control para la estabilización de fenómenos.

Otro aspecto de las simulaciones computacionales que puede modificar la relación teoría -experimentación, y sin duda afecta a categorías como artificial natural, es el rasgo 'adaptativo' de algunos sistemas computacionales. Cada vez son más los sistemas que se nutren de la interacción con el medio, especialmente aquellos desarrollados a través de redes neurales.

Para concluir podemos afirmar que la incorporación de estas técnicas ha establecido nuevos lazos entre teoría y experimento. Pero también agregan un nuevo matiz al concepto de intervención asociado con experimentación. Si tomamos la dicotomía entre representación e intervención sostenida por Hacking (1983), nuestro análisis ha mostrado el aspecto interventivo de las simulaciones. Mostrar este aspecto nos ha llevado a una resignificación del concepto de intervención, que en alguna medida diluye la dicotomía. En otras palabras, una 'intervención virtual' está más atada a la noción de representación que una intervención real. Aunque muchas intervenciones reales se realizan sobre la base de intervenciones virtuales.

Si interpretamos las simulaciones computacionales acentuando su aspecto artificial o teórico, este recaería sobre nuestra interpretación de los resultados de los experimentos reales que involucran simulaciones computacionales. Así, nuestra perspectiva ha desdibujado en buena medida la frontera que separa lo natural de lo artificial. Aunque, después de todo, no habría que olvidar que la experimentación nació con una alta cuota de artificialidad que los siglos han ido aumentando.

Notas

† Este trabajo fue desarrollado en el marco de un proyecto de investigación "El descubrimiento científico desde la perspectiva de las reglas heurísticas" financiado por FONCYT n° 04-04353.

¹ Llamo 'epistemología de la experimentación' al programa de investigación en el que han confluído historiadores, filósofos de la ciencia y sociólogos y cuyo sello distintivo ha sido ver a la actividad científica desde la perspectiva de las prácticas experimentales. En un sentido filosófico este programa fue iniciado por el trabajo de Ian Hacking *Representing and Intervening* y ha recibido también el nombre de 'nuevo experimentalismo'.

² La distinción ha sido sostenida por Galison (1997), aunque he cambiado ligeramente su significado.

³ Cf. Langley, Simon, Bradshaw, Zytkow (1987). En este trabajo se encuentran las bases de este programa de investigación, aunque a partir de esa fecha los trabajos se han desarrollado en muchas direcciones diferentes. Asimismo en esta obra se encuentran los primeros desarrollos de programas que simulan descubrimientos (o re-descubrimientos) científicos.

⁴ Esta segunda línea podría mostrarse a través de la disputa en física de altas energías entre la década del 50 y la década del 60 respecto al modo en que las computadoras debían utilizarse dentro de los laboratorios para el análisis de datos: de un modo interactivo hombre-computadora o con el paulatino reemplazo de los hombres función por función. Cf. Galison (1997), especialmente capítulo 5.

- 5 Cf. Horowitz, Massey (eds.) (1991) para una amplia variedad de interpretaciones recientes en muy diversos contextos tales como la filosofía contemporánea, la filosofía antigua, las ciencias naturales.
- 6 Además de las interpretaciones citadas cf. Hacking (1992), Brown (1992) y Lymon (1991) donde la tensión empirismo-racionalismo queda claramente expuesta.
- 7 Cf. Simon (1996), Humphreys (1993), Di Paolo, Noble, Bullock (2000). Sólo estos últimos desarrollan con algún detalle la analogía.
- 8 Humphreys (1991) eligió este rasgo para la definición de las simulaciones, pero en un sentido fuerte de "no pueden seguirse analíticamente", es una definición demasiado restrictiva.
- 9 Sobre estas dos estrategias para construir simulaciones diré algo más hacia el final del trabajo.
- 10 Para una historia de los experimentos citados que presta especial atención al uso de simulaciones computacionales cf. Galison (1987), especialmente capítulo 4. Otras dos historias, con fuertes sesgos filosóficos, son Franklin (1990) y Pickering (1984). En estas últimas la incidencia de las técnicas computacionales en estos experimentos no es suficientemente destacada.
- 11 Utilizo la expresión 'Métodos de Monte Carlo' de un modo general de tal forma que abarque diferentes técnicas de aproximación que en algunas ocasiones reciben otros nombres.
- 12 El uso de técnicas como las de Monte Carlo y de herramientas estadísticas para el procesamiento de datos experimentales y para 'separar señal de ruido' ha sido el aspecto privilegiado por D. Mayo para el desarrollo de una filosofía de la experimentación. Cf. Mayo (1996).
- 13 Es llamativo que en los últimos años los experimentos imaginarios han recibido más atención por su función dentro de la filosofía, especialmente la filosofía de la mente, que por su función dentro de la ciencia.

BIBLIOGRAFIA

- Brown, J.: 1992, 'Why Empiricism Won't Work', *PSA 1992*, Vol. 2.
- Di Paolo, E.A., Noble, J., Bullock, S.: 2000, 'Simulation models as opaque thought experiments', *Artificial Life VII: The 7th International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems*, Reed College.
- Earman, J., Janis, N., Rescher, N. (eds.): 1993, *Philosophical Problems of the Internal and External Words*, University of Pittsburgh Press.
- Fine, A., Forbes, M., Wessel, L. (eds.): 1991, *PSA 1990*, Vol. 2, East Lansing.
- Franklin, A.: 1990, *Experiment, Right or Wrong*, Cambridge University Press.
- Galison, P.: 1987, *How Experiments End*, University of Chicago Press.
- Galison, P.: 1997, *Image and Logic*, University of Chicago Press.
- Gooding, D.: 1992, 'What is Experimental about Thought Experiment?', *PSA 1992*, Vol. 2.
- Hacking, I.: 1983, *Representing and Intervening*, Cambridge University Press. Trad. cast. *Representar e Intervenir*, Paidós, 1996.

- Hacking, I.: 1992, 'Do Thought Experiments have a Life of Their Own? Comments on James Brown, Nancy Nersessian and David Gooding', *PSA 1992*, Vol. 2.
- Hartmann, S.: 1996, 'The World as a Process. Simulations in the Natural and Social Science', in Hegselmann, Mueller, Troitzsch (eds.) (1996).
- Hegselmann, R., Mueller, U., Troitzsch, K. (eds.): 1996, *Modelling and simulation in the Social Science from the Philosophy of Science Point of View*, Kluwer.
- Horowitz, T., Massey, G. (eds.): 1991, *Thought Experiments in Science and Philosophy*, Rowman and Littlefield.
- Humphreys, P.: 1991, 'Computer Simulation', in Fine, Forbes, Wessel (eds.) (1991).
- Humphreys, P.: 1993, 'Seven Theses on Thought Experiments', in Earman, Janis, Rescher (eds.) (1993).
- Koyré, A.: 1960, 'El De Motu Gravium de Galileo: del experimento imaginario y de su abuso', reimpresso en *Etudes d'histoire de la pensée scientifique*, 1973. Trad. cast. *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, 1977.
- Koyré, A.: 1966, *Etudes galiléennes*, Hermann. Trad. cast. *Estudios Galileanos*, Siglo XXI, 1980.
- Kuhn, T.: 1964, 'A Function for Thought Experiment', reimpresso en *The Essential Tension*, Chicago University Press, 1977. Trad. cast. *La Tensión Esencial*, Fondo de Cultura Económica, 1982.
- Langley, P., Simon, H., Bradshaw, G., Zytkow, J.: 1987, *Scientific Discovery*, MIT Press.
- Lymon, R.: 1991, 'Thought Experiments of Stevin Mach and Gouy: Thought Experiments as Ideal Limits and as Semantics Domains', in Horowitz, Massey (eds.) (1991).
- Mach, E.: 1905, 'On Thought Experiments', in *Knowledge and Error*, Dordrecht, D. Reidel, 1975, pp. 134-147. Trad. cast. *Conocimiento y Error*, Espasa-Calpe, 1948.
- Mayo, D.: 1996, *Error and the Growth of Experimental Knowledge*, University of Chicago Press.
- Nersessian, N.: 1992, 'In the Theoretician's Laboratory: Thought Experimenting as Mental Modeling', *PSA 1992*, Vol. 2.
- Norton, J.: 1991, 'Thought Experiment in Einstein's Work', in Horowitz, Massey (eds.) (1991).
- Pickering, A.: 1984, *Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics*, Chicago University Press/Edinburgh University Press.
- Simon, H.: 1969, *Sciences of Artificial*, MIT Press, segunda edición 1996. Trad. cast. de la primera edición, *Las ciencias de lo artificial*, Barcelona, A.T.E., 1979.

Marisa Velasco es Licenciada en Filosofía por la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina) y doctorando de la Universidad de Buenos Aires. Docente de Filosofía de la Ciencia y Seminario Metodológico en la Universidad Nacional de Córdoba, forma parte del proyecto de investigación "El descubrimiento científico desde la perspectiva de las reglas heurísticas" Su tema de investigación individual trata de "El concepto de experimentación en el pragmatismo y el empirismo contemporáneo".