
COGNICIÓN Y COMPUTADORES EN LAS PRÁCTICAS CIENTÍFICAS: LA MENTE CIENTÍFICA EXTENDIDA *

ROBERTO FELTRERO

ABSTRACT. The analysis of scientific practices has unavoidable cognitive aspects. Studies on cognitive anthropology can give us new insights into the role of the material and artefactual environment on the cognitive activities of the human beings. From the point of view of the distributed cognition approach, we propose a research about the cognitive functions carried out by computers on scientific practices. The question is to clarify whether computers are just fast calculation tools for scientists or, otherwise, computational possibilities can transform, on an epistemically relevant way, the scientists's cognitive strategies and skills. A case study on evolutionary simulation models is analyzed to exemplify the epistemic enhancement that new scientific methodologies based on computational simulation models offer to scientific practices.

KEY WORDS. Computer simulation, scientific practices, distributed cognition, extended mind, evolutionary simulation models, model-based reasoning.

0. INTRODUCCIÓN

El análisis cognitivo de las prácticas científicas plantea múltiples interrogantes acerca del papel de los artefactos materiales en el desarrollo de dichas prácticas. Desde la ciencia cognitiva, el marco de estudio de la cognición distribuida (Hutchins 1995a, 1995b, 1999; Hutchins y Klausen 1996) puede ofrecer algunas respuestas a estos interrogantes, a la vez que plantea nuevas preguntas sobre las consecuencias metodológicas, sociológicas y epistemológicas de este tipo de estrategias cognitivas distribuidas en el entorno material. Una de las tareas del estudio de las actividades cognitivas asociadas al medio material es clarificar los modos y tipos de ayuda que nos prestan los artefactos y tecnologías externas en el desempeño de dichas tareas cognitivas (Clark 2002). El caso de los computadores, ejemplo canónico de recurso tecnológico externo con innumerables funciones cognitivas, es el más apropiado para tratar de ilustrar esta tarea conceptual. Si, además, esta investigación la realizamos para el ámbito de

Departamento de Ciencia, Tecnología y Sociedad, Instituto de Filosofía, CSIC, C/ Pinar 25, 28006 Madrid, España. / rfeltrero@gmail.com

la investigación científica, es decir, la actividad cognitiva humana más exigente y la más sujeta a todo tipo de restricciones y verificaciones desde el punto de vista metodológico, este tipo de estudio nos permitirá abordar las consecuencias epistemológicas del uso de los computadores en las prácticas científicas. En concreto, se propone estudiar qué tipos de ayudas cognitivas externas se pueden catalogar como epistemológicamente novedosas y relevantes dentro de la panoplia de herramientas cognitivas —representaciones, modelos, lenguajes, etc.— propias de las prácticas científicas.

Los computadores se han convertido en herramientas indispensables para la investigación científica. La revolución provocada por la aparición de Internet en el campo de la comunicación también ha afectado a las comunicaciones científicas creando nuevas posibilidades epistemológicas (Bustos y Feltrero 2006; Feltrero 2006). Desde su aparición, la función de los computadores más aplicada a los diversos campos de la ciencia ha sido la del cálculo. La mayoría de las tareas científicas se sirven de las ventajas que ofrecen los computadores como rápidas y precisas máquinas de cálculo. Este tipo de funciones de mecanización de tareas cognitivas simples y, por tanto, de ayuda a los sistemas cognitivos de los científicos, no parece suponer ningún reto para la epistemología tradicional. Sin embargo, los computadores se están usando cada vez más como herramientas para elaborar modelos con los que investigar la realidad. Dichos modelos se consideran valiosas herramientas para tareas cognitivas complejas, como son la obtención de nuevas hipótesis, la exploración y validación conceptual de las diversas alternativas teóricas e, incluso, como medio para producir y reproducir experimentos mentales con herramientas externas a las mentes de los científicos.

Este último tipo de metodologías computacionales plantea importantes preguntas en el ámbito de la intersección entre los estudios cognitivos, sociológicos y epistemológicos. Si los computadores extienden, aumentan, aceleran, mejoran o simplemente apoyan nuestras capacidades cognitivas, son preguntas relevantes que deben ser contestadas atendiendo a sus diversas funciones cognitivas. En el caso de las prácticas científicas, la pregunta más sustancial, y la que se tratará de dar respuesta aquí, es si los computadores extienden, de manera epistémicamente relevante, las capacidades cognitivas de los científicos.

A través de la noción de *mente extendida* (Clark y Chalmers 1998), se propone ampliar el marco conceptual de las teorías sobre cognición distribuida para la valoración cognitiva y epistémica del papel de ciertas estrategias cognitivas dependientes de los computadores. Se trata de dar cuenta de aquellos casos en los que el uso de herramientas computacionales externas proporciona novedosas estrategias cognitivas irrealizables sin el concurso de dichas herramientas cognitivas externas. Los Modelos de

Simulación Evolutiva se usarán como caso de estudio ilustrativo. Se mostrará cómo el uso de estas herramientas computacionales —que escapan incluso a las restricciones de las metodologías clásicas de la computación algorítmica— proporcionan a los científicos nuevas y relevantes metodologías para la elaboración de representaciones y modelos externos.

1. COGNICIÓN EXTENDIDA EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Los estudios filosóficos de la metodología científica siempre reflejan algún tipo de idea preconcebida sobre la naturaleza de la cognición humana (Churchman 1971). El presente estudio se inscribe dentro del marco de comprensión de la cognición humana como una cognición corpórea, situada y distribuida (Beer 2000; Clark 1997, 1998). La comprensión de la actividad cognitiva integrada en —y en función de— su contexto material es un prerrequisito para este estudio. El papel de los artefactos materiales y tecnológicos en la investigación científica supone un ejemplo canónico de cómo las estrategias cognitivas de los científicos se benefician —y dependen en grado sumo— de su distribución en el entorno artefactual. El análisis de lo cognitivo debe extenderse, por tanto, a aquellos artefactos y tecnologías que prestan su ayuda en la realización de cada tarea cognitiva de manera significativa y, en algunos casos, insustituible.

Dentro de los estudios sobre las estrategias cognitivas en la investigación científica (Carruthers, Stich y Siegal 2002; Nersessian 2002), encontramos algunos trabajos que usan la perspectiva de la cognición distribuida (Giere 2002a, 2002b). Estos estudios requieren un avance conceptual que permita catalogar, desde un punto cognitivo, los distintos tipos de ayuda que proporcionan los artefactos y tecnologías y, con ello, su papel epistemológico. En esta catalogación merecen especial atención los computadores por las múltiples aplicaciones que permiten, desde simples herramientas de cálculo a complejos modelos de simulación, y por los diversos tipos de roles cognitivos y epistémicos que adquieren en cada una de ellas. Para iniciar esta catalogación, se propone distinguir entre conceptos como *ayuda*, *aumento*, *mejora* o *apoyo* comúnmente usados en estudios sociológicos o antropológicos para destacar el apoyo cognitivo que proporcionan algunos artefactos tecnológicos y un concepto más radical, la idea de la *mente extendida*, tratado filosóficamente en ciertos marcos teóricos de la ciencia cognitiva.

El concepto de *mente extendida* (Clark y Chalmers 1998) está íntimamente relacionado con otros conceptos como “mente situada”, “mente distribuida” o “mente andamiada” (*scaffolded mind*), que se han definido dentro de los citados marcos de comprensión de la influencia del contexto de la actividad cognitiva. Sin embargo, sus planteamientos apuntan a un papel más decisivo de los recursos externos para la actividad cognitiva. La tesis

que apoya este concepto se basa en el decisivo papel del entorno material a la hora de asistir, e incluso transformar, las tareas cognitivas.

[...] no es implausible suponer que el cerebro biológico ha evolucionado y madurado de manera que confía parte de su actividad a la presencia de un entorno externo manipulable. Parece que la evolución ha favorecido capacidades especialmente ajustadas para parasitar el entorno local con el objeto de reducir la cantidad de memoria requerida e, incluso, para transformar la naturaleza de los propios problemas computacionales (Clark y Chalmers 1998, p. 7).

El párrafo citado puede ser comprendido como una propuesta para entender los mecanismos de ayuda para nuestras capacidades cognitivas basados en la presencia del entorno externo. La definición que defienden Clark y Chalmers va un poco más allá de la idea de *apoyo* de nuestras capacidades y apunta hacia una idea más comprometida de *extensión* cognitiva cuando proponen un “[...] externalismo activo basado en el papel activo del entorno a la hora de dirigir procesos cognitivos” (ibid., p. 1). Por tanto, en esta propuesta sobre la mente extendida pueden encontrarse aspectos de los conceptos que se persigue distinguir aquí. Afirmar que un proceso cognitivo es dirigido por el entorno es una propuesta conceptualmente más fuerte que afirmar que usamos el entorno para descargar ciertas operaciones computacionales en él y así reducir el trabajo de nuestros propios procesos cognitivos internos. La afirmación de que un recurso externo sustituye parte de un proceso cognitivo interno implica defender que “[...] esa parte del mundo es (así lo afirmamos) parte del proceso cognitivo” (ibid., p. 4). Pero si parte de un proceso cognitivo es implementado por un recurso externo de manera que dirige el proceso cognitivo —mediante una selección activa de las variables relevantes o del medio y recursos representacionales— entonces hablar de apoyo o ayuda cognitiva es una caracterización débil que no hace justicia al papel activo —decisivo— de la herramienta externa.

Clark y Chalmers no desarrollan este sentido fuerte que implica su noción de mente extendida porque prefieren destacar la idea de la distribución de la cognición en los elementos del entorno, independientemente de que éste sea activo o pasivo. Sin embargo, las dudas epistemológicas¹ que se plantean por el uso de los modelos de simulación computacional, se pueden dilucidar si se afronta el estudio de este sentido fuerte, tratando de aclararlo con nuevos conceptos que extiendan el rango de análisis de las estrategias cognitivas en la investigación científica. Para abordar el sentido fuerte de mente extendida se hace necesario extender e integrar las herramientas conceptuales comúnmente usadas en el campo de estudio de las tecnologías cognitivas. La noción de mente extendida —por los

recursos tecnológicos— debe apoyarse en una idea clara de lo que significa “recursos cognitivos externos no disponibles para el agente cognitivo aislado”. Para ello, es útil acudir a la distinción entre herramientas cognitivas opacas y herramientas cognitivas transparentes.

Se denominará *herramienta cognitiva transparente* a aquel dispositivo externo que implementa una tarea cognitiva dentro de los límites de una metodología o procedimiento claramente comprensible y fácilmente modificable por su usuario humano. Se denominará *herramienta cognitiva opaca* al dispositivo externo que lleva a cabo una tarea cognitiva mediante una metodología o procedimiento no accesible ni comprensible para el usuario humano que se beneficia de sus resultados. Esta distinción, sin embargo, no es la usual en los estudios cognitivos sobre los computadores. Una distinción “alternativa” de herramienta transparente vs. herramienta opaca está de moda en ciertas reflexiones sobre el papel de los computadores en nuestras actividades diarias (Norman 1999). En estas propuestas, tecnologías transparentes son aquellas que nos permiten realizar de manera sencilla una tarea mediada por recursos tecnológicos sin percibir la metodología mediante la que esos recursos la llevan a cabo. La idea básica de esta definición supone que no es necesario comprender cómo trabaja el artefacto tecnológico, sino que éste se nos presenta preparado para utilizar las funciones que implementa, tal y como las implementa. En cuanto a la opacidad, Norman la define como visibilidad, es decir, no se trata tanto de que el artefacto sea difícil de utilizar, como que al implementar sus funciones se hace presente al usuario. De ese modo, al ejecutar su tarea, el usuario no sólo debe ser consciente de los requisitos de la misma sino también de los requisitos adicionales del artefacto mediante el que la está llevando a cabo. Un artefacto tecnológico es opaco, es decir, lo “vemos” entre nuestra tarea y la forma convencional de llevarla a cabo, porque nos exige habilidades tecnológicas suplementarias para la consecución de dicha tarea.

La distinción de Norman apuesta por una visión complaciente con la desconexión entre los sistemas cognitivos del usuario y las estrategias cognitivas implementadas por la herramienta externa. Se puede discutir si esta desconexión es conveniente o no a la hora de evaluar la funcionalidad de recursos tecnológicos en tareas de la vida cotidiana ², pero está claramente desenfocada para el análisis de la función cognitiva de los recursos tecnológicos en la investigación científica. En este contexto, herramienta transparente significa —debe significar para cumplir los requisitos de la metodología científica tradicional— que podemos comprender su funcionamiento y, mediante esa comprensión, analizarlo, criticarlo y modificarlo si cabe. Un poco más novedoso resulta el concepto de opacidad. Se considerará que un recurso tecnológico es opaco, desde un punto de vista cognitivo, si sus procesos y su resultado no son fácilmente com-

preñables por su usuario y, de este modo, el recurso dirige los procesos cognitivos del usuario; dicho de otra manera, la herramienta tecnológica extiende las capacidades cognitivas del usuario de manera relevante para sus actividades. La dificultad de esta definición estriba en el modo de mostrar que esto es posible en el campo de la investigación científica. Sin embargo, abordarla resulta insoslayable a la hora de analizar las consecuencias cognitivas y epistemológicas del uso de computadores y otras tecnologías cognitivas en la investigación científica. El uso de los resultados de tecnologías cognitivas opacas, o el análisis detallado de cómo los han logrado alcanzar, puede dirigir los procesos cognitivos del científico en nuevas direcciones que no se encontraban en el catálogo de sus recursos o habilidades cognitivas previos. Por tanto, este tipo de tecnologías debe encontrar acomodo y justificación en la metodología científica.

La distinción propuesta entre herramientas transparentes y opacas clarifica la conceptualización del papel cognitivo de las tecnologías computacionales. Mediante la misma se propone que podemos entender por cognición aumentada, acelerada o mejorada como el resultado de la aplicación de tecnologías computacionales transparentes a tareas cognitivas. Estas tecnologías automatizan procesos cognitivos de modo que aportan velocidad, precisión y capacidad de cálculo a los agentes humanos, los cuales controlan y dirigen la estrategia cognitiva global. Los desarrollos tecnológicos transparentes, por tanto, estarán sujetos a inspección y control, precisamente porque los algoritmos implementados para llevar a cabo una tarea son el producto de un diseño cognitivamente transparente.

Un problema de esta distinción, sin embargo, radica en su aplicación a las tecnologías y tareas en el contexto del uso cotidiano. La mayoría de los recursos de las tecnologías computacionales los aplicamos comúnmente para resolver problemas de los que ignoramos la metodología para su solución. Según la definición propuesta, esas tecnologías extenderían de manera relevante las capacidades cognitivas de cada usuario que se beneficiase de ellas sin conocer la forma de resolver el problema por otros medios. Un análisis más detallado de lo que ello implica, desde el punto de vista cognitivo y sociológico, es objeto de otro tipo de reflexión. Para el caso que nos ocupa, la investigación científica, esa objeción es, sin embargo, soslayable. Si la ciencia es, como se ha concebido tradicionalmente, una "caja" de recursos epistemológicos y metodológicos abierta y disponible para todos los científicos, podemos considerar que "cognición científica extendida" es la ampliación de dicha "caja", no la de la cognición de un científico en particular. Desde este punto de vista, una tecnología computacional opaca será aquella cuyos resultados o productos no puedan ser ni comprendidos ni reproducidos por ningún científico sin la ayuda de los propios computadores. En este sentido, dichas herramientas se pueden considerar tecnologías cognitivas externas y constitutivas (o no susti-

tuibles) (Dascal 2002). Este tipo de tecnologías puede dirigir al científico hacia nuevo conocimiento que no estaba accesible con las herramientas tradicionales. En el siguiente apartado, se proponen los Modelos de Simulación Evolutiva (MSE) como ejemplos de esta distinción.

2. MODELOS DE SIMULACIÓN EVOLUTIVA Y COGNICIÓN CIENTÍFICA EXTENDIDA

El uso de modelos en la investigación científica aporta diversas estrategias y resultados cognitivos (Giere 2002a; Nersessian 2002) que podemos describir en función de tres tipos principales. i) Sirven para concentrar la atención en un aspecto particular del fenómeno estudiado. En este sentido, Ronald Giere (2002) postula que la afirmación “M representa W” debe entenderse como “S usa M para representar W con el propósito P” (Giere 2002a). Los modelos se usan así para reducir la complejidad del mundo real y poder analizar con más detalle un aspecto más concreto del dominio estudiado. ii) Los modelos también se usan para la reconstrucción de la representación en otro tipo de lenguaje. Tanto los modelos gráficos, como los modelos materiales, como los propios modelos matemáticos, proporcionan nuevas perspectivas de los dominios o fenómenos estudiados, precisamente porque proporcionan nuevos lenguajes representacionales que facilitan el análisis o la elaboración de hipótesis al científico. Los modelos gráficos son el ejemplo más utilizado de este cambio representacional y no es difícil entender su insoslayable papel en la mayoría de disciplinas científicas. Este tipo de multimodalidad representacional es fundamental tanto para la propia investigación como para la comunicación de sus resultados. iii) Finalmente, los modelos sirven también para replantear las acciones científicas. El diseño o construcción de un modelo gráfico, material o matemático tiene implicaciones en toda la práctica científica, pues replantea tanto la búsqueda heurística para la formación de hipótesis y teorías como, obviamente, el trabajo empírico dedicado a la contrastación de las mismas.

Los modelos computacionales amplían el rango de las funciones cognitivas que podemos atribuir al uso de los modelos científicos. En primer lugar, porque representan explícitamente múltiples aspectos del dominio estudiado, aspectos que pueden ser manipulados a voluntad del científico. En un modelo computacional, todas las variables pueden ser modificadas y analizadas matemáticamente por el investigador, lo que hace posible análisis explícitos desde muy diversas perspectivas. Además, podemos transformar esos datos en modelos gráficos, o incluso materiales, por lo que en realidad, los modelos computacionales pueden ofrecer la estrategia cognitiva de la multimodalidad representacional para todo tipo de problemas³. Finalmente, desde el punto de vista del replanteamiento de la

acción, en este caso acción epistémica (Kirsh y Maglio 1994), constituyen recursos muy valiosos para operaciones cognitivas dentro del ámbito de la creatividad científica. Las actividades cognitivas tradicionalmente asociadas a este ámbito, entre las que destacan el razonamiento heurístico, la formación de conceptos y teorías, o los experimentos mentales, pueden llevarse a cabo a través de los modelos computacionales.

Diversos estudios en filosofía de la ciencia han destacado estas nuevas metodologías para el razonamiento científico, sirviendo también como herramientas para el estudio indirecto de la cognición científica (Thagard 1988, 1992). La perspectiva clásica en ciencia cognitiva, desde la cual los estudios citados comparten algunos de sus presupuestos, ha perseguido el diseño de modelos que imiten los cerebros de los científicos. No se trata, por tanto, de que los modelos sustituyan al científico en estas labores, sino de que la traducción de sus intuiciones, hipótesis, teorías o experimentos mentales al ámbito de la simulación computacional proporcione una nueva forma de expresión de estas estrategias cognitivas con numerosas ventajas.

Entre estas ventajas, son destacables las que provienen de las constricciones impuestas por la propia tarea de modelización a las distintas alternativas funcionales que una idea científica presenta. Dependiendo del tipo de modelo elegido, podemos someter la hipótesis a constricciones computacionales, neurales o evolutivas, bien sea que elijamos modelos dentro de lo computable en términos clásicos, modelos conexionistas o modelos evolutivos. Es decir, una primera piedra de toque para una hipótesis puede ser su plausibilidad computacional, neural o evolutiva y los modelos de simulación por ordenador nos proporcionan métodos para verificar estos tipos de plausibilidad. En este sentido, los distintos modelos de simulación computacional también nos proporcionan nuevos recursos conceptuales para llevar a cabo el modelo. En lugar de restringirnos a los lenguajes científicos usuales, es posible traducir las hipótesis en términos de reglas de producción, imágenes mentales, modelos dinámicos, redes conceptuales basadas en prototipos o jerarquías, etc. (Thagard 2004, p. 313). Todos estos recursos amplían sin ningún lugar a dudas los recursos de los científicos, pero es en el campo de los Modelos de Simulación Evolutiva (MSE) donde encontramos las novedades más interesantes que explican las mejoras cualitativas que estas metodologías pueden aportar. Ya no se trata de imitar o traducir computacionalmente las estrategias cognitivas de los cerebros de los científicos, sino estudiar cómo ciertos tipos de modelos son usados como apoyo a las operaciones de esos cerebros y, en algunos casos, como extensión de las mismas. En este sentido, no se trata de elaborar una teoría sobre la cognición científica, sino de enumerar las distintas estrategias cognitivas que los modelos de simulación posibilitan, apoyan o extienden. Por ello, los MSE presentan interesantes novedades que nos van

a servir como ejemplo de aplicación de las distinciones conceptuales propuestas en el apartado anterior. Se trata de explicar dichos modelos como tecnologías cognitivas que extienden la mente científica.

La aplicación del calificativo de *tecnologías cognitivas que extienden la mente científica* a los MSE implica, en primer lugar, comprender cómo estos modelos pueden dirigir la exploración científica. Para ello, no podemos tratar de analizarlos como modelos computacionales clásicos —algorítmicamente transparentes y autoexplicativos— sino como modelos cuya estructura y funcionamiento pueden proporcionar ideas nuevas para el científico. Dichas ideas nuevas se basan en que en los MSE se unen la emergencia de estructuras, la complejidad, el aprendizaje y la evolución de agentes artificiales en un entorno determinado (también simulado), cuyo resultado conjunto es la configuración de agentes que llevan a cabo las tareas que constituyen su objetivo mediante estrategias inesperadas que resultan opacas ante una primera inspección del diseñador. Según la distinción propuesta entre herramienta transparente y opaca, los MSE pueden considerarse opacos debido a la dificultad que entraña modelar esas estructuras y sus correspondientes procesos emergentes con otro método.

Puesto que la opacidad es la característica que transforma la metodología que emplea el científico que trabaja con MSE, resulta interesante una investigación más detallada sobre sus implicaciones metodológicas (Di Paolo, Noble y Bullock 2000). El modelo computacional proporciona una estructura resultante del proceso de evolución —por ejemplo, en modelos cognitivos, los patrones de activación neuronal fijados por el proceso de aprendizaje evolutivo— que puede ser analizado con detalle por los científicos. A partir de los resultados de este análisis, el científico puede elaborar nuevas hipótesis sobre los detalles del mecanismo o proceso responsable del comportamiento del agente artificial. La novedad de las hipótesis radica en el hecho de que la estructura resultante es difícil de anticipar o describir por un agente humano resolviendo ecuaciones diferenciales, o con cualquier otra metodología analítica clásica. La complejidad de las relaciones entre las variables del sistema y la influencia recursiva entre ellas provoca que la matematización sea una tarea excesivamente compleja. La complejidad matemática hace también imprescindibles los computadores en otros tipos de investigación, por ejemplo el caso del uso de computadores en el proyecto *Hubble* que cita Giere (2003, p.2). En este proyecto, se hace uso de los computadores como potentes herramientas de cálculo. Pero, en este caso, no se trata de tecnologías cognitivas constitutivas, pues son sustituibles, de manera teórica, por agentes humanos resolviendo ecuaciones en un tiempo finito (aunque probablemente demasiado largo). La diferencia interesante desde un punto de vista cognitivo es que, mientras que la estrategia de cálculo en el caso de los

computadores del proyecto *Hubble* es transparente y está relacionada con la propia descripción de la tarea, en el caso de los MSE las ecuaciones diferenciales diseñadas para el algoritmo de aprendizaje y las modificaciones sobre variables de nivel básico que son introducidas para modificar el comportamiento resultante no muestran una relación transparente con el nivel de descripción del comportamiento, es decir, con el nivel de descripción de la tarea encomendada al agente artificial. Por tanto, a diferencia de máquinas calculadoras o de computadores usados convencionalmente, los MSE no se pueden considerar como modelos algorítmicos del nivel comportamental de un agente, contruidos o diseñados por investigadores humanos dentro de la máquina, ya sea en forma de *hardware* o de *software*. Más bien, debemos considerarlos como modelos materiales que presentan una estructura y funcionalidad cognitiva que debe ser estudiada, analizada y comprendida a la luz del resto de datos que maneja el investigador. Funcionan, por tanto, como nuevas herramientas activas capaces de extender las habilidades cognitivas del científico y sus herramientas metodológicas, puesto que los resultados que proporcionan no son obvios para los agentes humanos operando con las metodologías tradicionales.

Metodológicamente, por tanto, los MSE ofrecen nuevas posibilidades de estudio para fenómenos complejos que implican un gran número de variables y componentes que interactúan entre sí mediante relaciones recursivas y no lineales. Además, los MSE ofrecen la posibilidad de establecer relaciones causales probables entre diferentes niveles de descripción de un problema (Feltrero y Barandiaran 2003). Por ello, son insoslayables para el uso de metodologías de descripción del comportamiento de un sistema desde niveles básicos (*down-top*) que nos permitan comprender el papel de dichas variables en el comportamiento global del sistema en su conjunto (por ejemplo, cómo afectan al comportamiento o al aprendizaje de un sistema cognitivo pequeñas variaciones en los aspectos más básicos de la estructura neuronal o de cada neurona). Estas funciones hacen de los MSE recursos cognitivos sumamente útiles para la búsqueda de hipótesis y de explicaciones conceptuales detalladas sobre estos fenómenos complejos. En efecto, modelos complejos producen resultados emergentes, cuya estructura y funcionamiento presentan un reto para su análisis y comprensión por el científico (Bedau 1997, 1998). Además, por el carácter computacional de las simulaciones, los MSE permiten simular y reproducir el comportamiento del sistema con métodos numéricos, permitiendo el análisis cualitativo del comportamiento de las distintas variables mediante métodos como los de las matemáticas de los sistemas dinámicos. Poseen un gran valor científico como herramientas cognitivas para la generación de hipótesis pues proporcionan patrones explicativos en el agente ya evolucionado, que son susceptibles de ser estudiados por el científico

como nuevas hipótesis. Su relevancia epistémica, no obstante, debe ser entendida dentro del marco de la investigación teórica como herramientas cognitivas —teóricas si se prefiere— no como resultados empíricos (Feltrero 2005). Desde el punto de vista cognitivo y epistemológico que nos atañe podemos concluir que, puesto que los científicos no tienen, al día de hoy, herramientas tan precisas para trabajar con este tipo de fenómenos o para aplicar ese tipo de metodologías, las herramientas computacionales empleadas como Modelos de Simulación Evolutiva extienden la cognición científica.

3. CONCLUSIÓN

Las prácticas científicas en el siglo XXI no pueden ser analizadas sin tomar en cuenta el papel metodológico y epistemológico de los computadores y su influencia en las estrategias cognitivas desarrolladas por los investigadores. Las conocidas características de los computadores usados como potentes máquinas de cálculo, manejo y comunicación de la información han cambiado numerosas prácticas en la ciencia de la segunda mitad del siglo XX, mediante la simplificación de complejas tareas computacionales, mejorando la comunicación entre los científicos y proporcionando herramientas computacionales para nuevos tipos de investigación distribuida. Podemos categorizar este tipo de funciones de los computadores como ayudas o apoyos cognitivos. Sin embargo, cuando nuevas metodologías basadas en los computadores, como los Modelos de Simulación Evolutiva, proporcionan metodologías cognitivas con novedosas y relevantes dimensiones epistemológicas, entonces podemos afirmar, sin duda, que se trata de tecnologías cognitivas externas que extienden las capacidades cognitivas de los científicos de manera relevante para la propia ciencia. El análisis de las prácticas científicas del siglo XXI, sin duda, deberá dar cuenta de estas nuevas funciones cognitivas de los computadores.

En este ámbito de reflexión sobre las funciones cognitivas de los computadores, se ha estudiado el caso de los Modelos de Simulación Evolutiva y se ha mostrado que son herramientas cognitivas externas que permiten a los científicos establecer relaciones causales entre diferentes niveles de descripción de un problema, analizar fenómenos complejos que involucran múltiples variables interrelacionadas, extraer patrones explicativos del comportamiento del sistema tras su evolución que sirven como nuevas hipótesis explicativas para el dominio real, etc. Aún cuando esta relevancia epistémica se circunscribe al ámbito de la investigación teórica —conceptual— podemos concluir que sus resultados no son alcanzables mediante las metodologías científicas clásicas y, por tanto, los podemos catalogar como herramientas externas activas capaces de dirigir algunos procesos cognitivos de los científicos. Por tanto, según la definición propuesta, se

trata de herramientas cognitivas que extienden las capacidades cognitivas de los científicos de manera epistémicamente relevante, es decir, constituyen un ejemplo de la *mente científica extendida* en el entorno material de las tecnologías cognitivas.

NOTAS

- * La redacción de este trabajo se ha beneficiado de la financiación del proyecto de investigación del Ministerio de Ciencia y Tecnología HUM2005-02105/FISO y de la beca I3P de posgrado que disfruto en el Instituto de Filosofía del CSIC.
- 1 La noción de epistemología se usa aquí con un sentido más débil que el de las epistemologías veritistas al uso en filosofía. En realidad, es toda la noción "heredada" de estrategias y valores cognitivos lo que se pone en cuestión con estos nuevos enfoques de la ciencia cognitiva por la ampliación del estudio de lo cognitivo que proponen. Las consecuencias epistemológicas se referirán, por tanto, a los aspectos de la metodología y la validación de resultados científicos que se ven influidos por el uso de computadores como herramientas cognitivas para el investigador.
 - 2 Esta distinción es más adecuada a la hora de tratar cuestiones éticas y sociológicas sobre diseño y control tecnológicos: si la aplicación de las tecnologías computacionales es la automatización de operaciones cognitivas y esas funciones son resultados emergentes de la triada cerebro, contexto de actividad y tecnología, cuanto más transparentes sean las tecnologías, mayor número de posibilidades para su desintegración, combinación o reintegración y, con ello, mayores posibilidades de encontrar nuevas y valiosas funciones emergentes adaptadas al contexto de la actividad y sus objetivos. Las herramientas transparentes, en el sentido propuesto por Norman, son sencillas de usar y ofrecen resultados sencillos e inmediatos en el desempeño de la función o tarea concreta para la que han sido diseñadas. Sin embargo, a cambio, no suelen ofrecer la posibilidad de modificarlas de manera significativa y relevante de modo que el usuario puede adaptarlas con mayor precisión a los requisitos de su tarea particular en su contexto de actividad cognitiva.
 - 3 Patrick Grim usa estas posibilidades gráficas de los modelos computacionales para estudiar problemas filosóficos tan abstractos como el dilema del prisionero o la paradoja del mentiroso, desde sus representaciones gráficas .

BIBLIOGRAFÍA

- Bedau, M. A. (1997), "Emergent models of supple dynamics in life and mind," *Brain and Cognition* 34: 5-27.
- Bedau, M. A. (1998), "Philosophical content and method of artificial life," in T. W. Bynam y J. H. Moor (eds.), *The Digital Phoenix: How Computers are Changing Philosophy* (pp. 135-152). Portland: Basil Blackwell.
- Beer, R. (2000), "Dynamical approaches to cognitive science," *Trends in Cognitive Sciences* 4(3): 91-99. <http://vorlon.cwru.edu/~beer/Papers/TICS.pdf>.
- Bustos, E. y Feltrero, R. (2006), "Internet y el acceso al conocimiento: la articulación de lo epistemológico y lo moral", en A. Pérez y A. Velasco (eds.), *Racionalidad teórica y racionalidad práctica en la ciencia*. Mexico: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.
- Carruthers, P., Stich, S. y Siegal, M. (eds.) (2002), *The Cognitive Basis of Science*. London: Cambridge University Press.
- Churchman, C. W. (1971), *The Design of Inquiring Systems*. NY: Basic Books.
- Clark, A. (1997), *Being There: Putting Brain, Body, and World Together Again*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Clark, A. (1998), "Embodied, situated and distributed cognition," in W. Bechtel y G. Graham (eds.), *A Companion to Cognitive Science*. Malden, MA: Blackwell Publishers.
- Clark, A. (2002), "Towards a science of the bio-technological mind," *International Journal of Cognition and Technology* 1(1): 21-33.
- Clark, A. y Chalmers, D. (1998), "The extended mind," *Analysis* 58(1): 7-19.
- Dascal, M. (2002), "Language as a cognitive technology," *International Journal of Cognition and Technology* 1(1): 35-89. <http://www.tau.ac.il/humanities/philos/dascal/papers/ijct-rv.htm>.
- Di Paolo, E. A., Noble, J. y Bullock, S. (2000), "Simulation models as opaque thought experiments," in M. A. Bedau, J. S. McCaskill, N. H. Packard y S. Rasmussen (eds.), *Artificial Life VII: Proceedings of the Seventh International Conference on Artificial Life* (pp. 497-506). Cambridge, MA: MIT Press.
- Feltrero, R. (2005), "The role of computers in scientific research: a cognitive approach," in L. Magnani y R. Dossena (eds.), *Computing, Philosophy and Cognition* (pp. 1-12). London: King's College Publications.
- Feltrero, R. (en prensa), *Tecnologías cognitivas, ¿metodologías convergentes?* Barcelona: Anthropos.
- Feltrero, R. y Barandiaran, X. (2003), "Conceptual and methodological blending in cognitive science: The role of simulated and robotic models in scientific explanation," *12th. International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science* (Vol. Abstracts, pp. 171). Oviedo, Spain.
- Giere, R. (2002a), *Models as Parts of Distributed Cognitive Systems*. Disponible en: <http://www.tc.umn.edu/~giere/> [2003, 30/08].
- Giere, R. (2002b), "Scientific cognition as distributed cognition," En P. Carruthers, S. Stich y M. Siegal (eds.), *The Cognitive Basis of Science*. London: Cambridge University Press.
- Giere, R. (2003), "The role of computation in scientific cognition," *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence* 15: 195-202. <http://www.tc.umn.edu/~giere/>
- Grim, P. (2002), "Philosophy for computers: some explorations in philosophical modeling," in J. H. Moor y T. W. Bynam (eds.), *Cyberphilosophy: The Intersection of Philosophy and Computing*. Oxford: Blackwell Publishing.

- Hutchins, E. (1995a), *Cognition in the Wild*. Cambridge, Ma: MIT Press.
- Hutchins, E. (1995b), "How a cockpit remembers its speeds," *Cognitive Science* 19: 265-288 .
- Hutchins, E. (1999), "Cognitive artifacts," in R. A. Wilson y F. C. Keil (eds.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (pp. 126-128). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Hutchins, E. y Klausen, T. (1996), "Distributed cognition in an airline cockpit," in D. Middleton y Y. Engeström (eds.), *Communication and Cognition at Work*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kirsh, D. y Maglio, P. (1994), "On distinguishing epistemic from pragmatic action," *Cognitive Science* 18: 513-549.
- Nersessian, N. (2002), "The cognitive basis of model-based reasoning in science," in P. Carruthers, S. Stich y M. Siegal (eds.), *The Cognitive Basis of Science*. London: Cambridge University Press.
- Norman, D. A. (1999), *The Invisible Computer*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Thagard, P. (1988), *Computational Philosophy of Science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Thagard, P. (1992), *Conceptual Revolutions*. Princeton: Princeton University Press.
- Thagard, P. (2004), "Computing in the philosophy of science," in L. Floridi (ed.), *Philosophy of Computing and Information*, Oxford: Blackwell, pp. 307-317.