

LA SIMULACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE MODELOS Y TEORÍAS CIENTÍFICAS MEDIANTE IMÁGENES

SIMULATION AND REPRESENTATION OF MODELS AND SCIENTIFIC THEORIES USING PICTURES

Francisco López Cantos¹
Universitat Jaume I, Castellón (España)

Recibido: 05-11-2013

Aceptado: 28-05-2014

Resumen: El presente artículo, tiene como objetivo mostrar la evolución que han tenido las formas de representación científica mediante imágenes a lo largo de la Historia de la Ciencia, desde las primeras ilustraciones botánicas o médicas a la imagen digital contemporánea, pasando por el uso de la imagen astronómica o los sistemas de teledetección o el estudio del clima, y realizar, a partir de ello, una aproximación teórica al estatuto que adquieren en la actualidad las estrategias de simulación en el conjunto de los actuales sistemas de representación de la Ciencia mediante imágenes.

Palabras-clave: ilustración científica, imagen científica, representación del conocimiento, epistemología de la imagen, comunicación científica.

Abstract: This paper aim to show the evolution of scientific image representation along the History of Science, from botanical and medical illustrations to contemporary digital image or the use of astronomical image and remote sensing systems for climate studie, to perform a theoretical approach about the high status is acquiring simulation strategies nowadays in the representation of science using images.

Key-words: Scientific illustration, scientific image, knowledge representation, epistemology of images, scientific communication.

[1] (flopez@uji.es) Dpto. de Ciencias de la Comunicación. Entre sus publicaciones recientes se pueden encontrar, entre otras, “Serious Games. Historias del campo de batalla”, en *Videojuegos y Cultura Visual*. La Laguna: Sociedad Latina de Comunicación Social, 2013; “Poética de la alfabetización”, en *Razón y Palabra*, 2013, Num. 83. pp. 1-20; o “La imagen científica: tecnología y artefacto”, en *Revista Mediterránea de Comunicación*, 2011, Num. 1, pp. 158-172.

Que la imaginación no es un sentido se deduce con evidencia de los hechos siguientes. El sentido está en potencia o en acto —por ejemplo, vista y visión— mientras que una imagen puede presentarse sin que se dé ni lo uno ni lo otro, como ocurre en los sueños. Además, el sentido está siempre presente y disponible pero no la imaginación. Por otra parte, si fueran lo mismo en acto, la imaginación podría darse en todas las bestias; sin embargo, no parece que así sea en la hormiga, la abeja o el gusano. Más aún, las sensaciones son siempre verdaderas mientras que las imágenes son en su mayoría falsas².

Aristóteles.

1. Introducción.

El análisis de la entidad y estatuto de las imágenes y el cuestionamiento de su cualidad probatoria viene de lejos, sirva como muestra esta breve digresión de la cita aristotélica cuyos interrogantes más de 20 siglos después retomaría, por ejemplo, la fenomenología de Husserl. No es, por supuesto, pretensión de quien suscribe estas líneas profundizar y, ni mucho menos dirimir, este clásico e inabarcable debate que llega hasta nuestros días en este breve texto³ pero, en cambio, sí traemos a colación al filósofo clásico para hacernos eco de su aseveración de que “todo pensamiento es imposible sin una imagen”.

La psicología cognitiva, abanderada por Stephen Kosslyn y su aportación al seminal trabajo de Howard Gardner que inaugura las denominadas ciencias cognitivas, ya se ocupa de analizar contemporáneamente y de forma específica del estatuto de las imágenes mentales y su implicación en los mecanismos de la memoria, subrayando que “la información que se almacena (en la memoria) guarda una correspondencia no arbitraria con la cosa representada” (Kosslyn, 1987pp. 354 y ss.).

Para probar esta afirmación, desarrolló un modelo de simulación de la memoria visual que constaba de dos clases de estructuras de datos. La primera de ellas, consistente en “una *matriz de superficie*, que representa a la imagen misma” y la “literalidad” del objeto visualmente; y la segunda, relativa “al conjunto de datos que representan la información utilizada para generar las imágenes” y que tiene naturaleza proposicional. Kosslyn remarca que lo significativo en este modelo es su carácter jerárquico y estructural ya que para operar a este conjunto de datos se le aplican tres tipos de procesos “imaginables”: rutinas para la generación de imágenes de superficie, para su clasificación y para su transformación.

El modelo se implantó tempranamente en sistemas informáticos con el objetivo de simular estas supuestas estructuras de datos y procesos que rigen

[2] *Sobre el alma*, p. 95. Ed. Gredos.

[3] Una aproximación al análisis de los aspectos relativos a la atribución de objetividad a las imágenes científicas se puede consultar en López Cantos (2011)

la memoria visual. Su traslación era sencilla pues la propuesta difiere poco del propio funcionamiento de los sistemas informáticos en que los datos subyacen en una estructura profunda que sólo luego acaba generando una matriz que representa esa “literalidad” de la imagen en, por ejemplo, una pantalla o una impresora o cualquier otro dispositivo que genere gráficos. La simulación, en sí misma, no aportaba realmente nada, al menos en nuestra opinión, pues sólo adoptaba un modelo mecanicista clásico adaptado a la tecnología existente. Más que servir para establecer correspondencias con el funcionamiento de la memoria y caracterizar las imágenes visuales suponía sólo un planteamiento apriorístico que pretendía hacer corresponder el modelo o la teoría con la realidad mediante tecnologías de vanguardia. Pero, como sabemos, la realidad se suele mostrar bastante tozuda para adecuarse a las teorías, y el experimento no sirvió de mucho.

Sin embargo, la simulación de la memoria que proponían sí sirvió para detectar problemas inherentes a la representación y operación con la tridimensionalidad de las imágenes. Y, en su revisión por uno de sus discípulos, Steven Pinker, a partir del análisis empírico del manejo de imágenes mentales a partir de objetos tridimensionales que hacía un grupo de individuos se llegó a la conclusión de que “una vez inspeccionada una escena tridimensional, el sujeto la imagina en tres dimensiones” y, lo que es igual o más importante, “el tiempo que le lleva explorar los objetos disminuye en forma proporcional a las distancias tridimensionales efectivas y no a las distancias bidimensionales que presenta una fotografía de la escena” (Kosslyn, 1983). A partir de ello, y tomando como premisa este modelo fundamentalmente mecanicista, ha sido fácil derivar que lo que se ha venido denominando “simulación” en Ciencia está íntimamente ligado a las características de la propia cognición y a la forma de funcionamiento de los ordenadores y, en consecuencia, todo se reduciría a un problema de traslación entre interfaces, de la realidad física a la mental, intermediada por constructos que simulasen dicha transposición con la máxima literalidad.

En nuestra opinión, este modelo estructuralista y jerárquico subyacente tanto en lo relativo a la forma en que se “piensan” las imágenes como en cuanto a la correspondencia que se puede hacer de ello a sistemas informáticos otorga un estatus primigenio al pensamiento proposicional frente al visual que no es en absoluto nada evidente, valga la redundancia, y es cuanto menos muy discutible. Desde luego este tipo de experimentos de naturaleza estructural sí son muy fáciles de implantar con las tecnologías actuales, y de ahí la extraordinaria difusión y predicamento que este, al fin y al cabo viejo, paradigma mecanicista ha tenido en las últimas décadas, teniendo un impulso sin precedentes y conformando una nueva área de conocimiento que se ha venido a denominar *simulation/gaming*, y que comprende la investigación e implementaciones que simulen todo género de aspectos con fines científicos o meramente educativos o lúdicos.

Por nuestra parte, aunque sea mucho más discutible que las imágenes sean subsidiarias de una suerte de sistema de representación proposicional subyacente y se necesiten rutinas que trasladen datos a matrices visuales al modo que hacen los ordenadores, sí podemos concluir, a partir de todo ello y al margen de las luces de modernidad de esta nueva área de conocimiento que, efectivamente, desde el punto de vista cognitivo las imágenes tienen entidad propia y requieren cierto tipo de procesamiento. Y es clara la importancia que las imágenes tienen para la cognición y, por ello, es imprescindible avanzar en su investigación y fomentar su uso en todos los ámbitos. Más todavía si cabe dado el lugar preeminente que tienen en nuestros días en lo que hemos denominado *cultura visual* y que está viendo crecer en su seno en los últimos decenios lo que se viene imponiendo como *cultura de los videojuegos*, en tanto que implantación de los conocimientos derivados del área de conocimiento que, como decíamos, viene a denominarse *simulation/gaming*.

Nosotros nos ocuparemos de la primera parte del binomio, la *simulación* aunque, como es obvio, es muy estrecha la línea que separa ambos términos, no será objeto de este trabajo profundizar en los aspectos relativos al *gaming*. Veamos, pues, con más detenimiento qué entendemos por “simulación”.

2. La simulación. Aproximación al concepto.

Es lugar común datar los inicios y los propios fundamentos de lo que denominamos “simulación” a los albores de las tecnologías informáticas en los años 40, especialmente la construcción del ENIAC, y relacionar sus orígenes de manera muy estrecha con la implementación de modelos matemáticos, especialmente el Método MonteCarlo,⁴ tal como, por ejemplo, describen Goldmans, Nace & Wilson (2009), remontándose hasta el “experimento de las agujas” de Buffon, propuesto en 1777. No obstante, esta aproximación al término resulta poco satisfactoria y restrictiva y es necesario, en nuestra opinión, adoptar un concepto de “simulación” que vaya más allá de estas consideraciones tan ligadas al desarrollo de los sistemas informáticos y las matemáticas.

En primer lugar, y siguiendo a Grüne-Yanoff y Weirich (2010, p. 20), conviene determinar qué es lo que puede ser simulado, teniendo en cuenta que simular, según definen estos autores es, en primer lugar, sinónimo de imitar o replicar y, en segundo lugar, es una acción que tiene como resultado una simulación que, en sí misma, es un patrón abstracto que se ejecuta de una manera concreta.

[4] El método de Montecarlo, es un método estadístico numérico usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud. Se llamó así en referencia al Casino de Montecarlo por ser “la capital del juego de azar”, al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios, y su uso proviene del trabajo realizado en el desarrollo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial y en la actualidad es parte fundamental de los algoritmos de *raytracing* para la generación de imágenes 3D.

Las simulaciones, según estos autores, se pueden clasificar según sus características (tales como si usan ordenadores o modelos a escala; o presentan una dinámica discreta o continua), o también según su propósito (en tanto que simulan el habla, el vuelo de un avión, el clima,...), pero, sobre todo, las simulaciones para estos autores son útiles en Ciencia para explorar las consecuencias de experimentos imposibles de implementar efectivamente, por impracticables o, también, demasiado costosos.

En todo caso, e independientemente de su clasificación, para alcanzar una definición óptima resulta eficaz hacer notar que las simulaciones siempre descansan sobre modelos previos, y éstos a su vez sobre teorías preexistentes. Con ello, por tanto, aunque determinar las relaciones entre estas tres entidades no está exento de problemas, sí podemos asumir que los modelos son agentes mediadores entre las teorías y la realidad, intercalándose entre ambas en un proceso constante de reajuste y adecuación, al menos hasta que el paradigma que los sustenta continúa vigente, y las simulaciones se encuentran igualmente en ese punto de confluencia en tanto que representaciones de modelos.

La “simulación” entonces, en sí misma, tiene como objetivo la representación mediante imágenes u objetos tridimensionales de modelos que pretenden explicar teorías sobre la realidad, y es independiente de la forma efectiva en que se implemente ese modelo (2D, 2^{1/2}D, 3D, 4D) y la materialidad de su soporte (material o inmaterial). En palabras de Dokic y Proust (2002), en la simulación “we represent the mental processes of other people by mentally simulating them”. Y, por lo tanto, no necesariamente la simulación ha de estar ligada a modelos informáticos y ser “virtual” si no más bien se trata de una forma de mediación y, ciertamente, es una estrategia de representación para mostrar o explorar teorías que se ha venido utilizando desde tiempos inmemoriales. La ilustración botánica, por ejemplo, o la representación matemática, de razones trigonométricas son muestras de ello.

Y, si adoptamos esta definición no restrictiva y no equiparamos simulación a sistema informático y matemáticas, podemos fácilmente reconocer como la Ciencia ha venido haciendo tradicionalmente uso de la “simulación” y no es nada nuevo. Se puede simular, por ejemplo, la anatomía del cuerpo humano con modelos de cera para mostrarla con fines didácticos o artísticos; recrear un experimento de laboratorio la importancia del oxígeno encerrando un pájaro en una bomba de aire y haciendo el vacío, para satisfacer la curiosidad científica de los públicos no doctos, aunque con catastróficas consecuencias para el pájaro, como muestra el famoso cuadro de Derby. Cabe incluir entre los ejemplos más recientes, y también, las simulaciones matemáticas utilizando ordenadores, por ejemplo para implementar las geometrías fractales que propusiera Mandelbrot en las últimas décadas del siglo XX⁵ pero, insistimos, la simulación no está ligada exclusivamente a los ordenadores.

[5] Algunas creaciones fractales se pueden encontrar en Mandelbrot, B. (1990).

La simulación, genéricamente, es solo es imitación, y es una estrategia de intermediación cognitiva que es extensible a todos los procesos que acaban mostrando imágenes inteligibles en función del propio proceso mental con el que las interpretamos, imágenes diseñadas por y para nuestra cognición visual inherente.

No obstante, se puede, y se debe, hacer alguna una matización al respecto de esta definición, digamos amplia, y la primera de ellas es relativa al vector temporal, que puede llevar también a confusión cuando se pretende sea intrínseco a la definición de “simulación”.

Ciertamente, algunos tipos de simulaciones que se implementan en modelos informáticos son dinámicas, es decir, transitan desde un estado inicial hasta el final, pudiendo hacer exploraciones prospectivas o retrospectivas, cómo por ejemplo las que se elaboran con los modelos sobre el cambio climático o, también, aquellas que intentan representar con imágenes los inicios del universo, como, por ejemplo, la imagen que distribuyó la NASA en 1989 y que pretendía representar un instante “solo” 380.000 años posterior al Big Bang⁶.

Pero tampoco se trata de una estrategia nueva, por mucho que nos pueda deslumbrar la potencia exploratoria de los sistemas informáticos actuales y el procesamiento masivo compartido en red para, por ejemplo, intentar determinar el funcionamiento de las proteínas⁷, y no es más que la implementación contemporánea de lo que en otros tiempos fueron rudimentarios mecanismos que representaban distintos momentos del proceso que simulaban, como por ejemplo hacían las esferas armilares utilizadas en astronomía o los modelos de la estructura del átomo. La serialidad, y por tanto, la representación del vector temporal, no es tampoco ajena a las imágenes fijas y, desde los inicios de la fotografía se utilizaron para, por ejemplo, la representación fisiológica del movimiento animal o humano por parte de Edward Muybridge o Jules Marey, o para el estudio de, por ejemplo, la forma de vuelo de la cigüeña de manos del cronofotógrafo Ottomar Anschültz, que fueron recogidas por la comunidad científica con gran entusiasmo y sirvieron de antecedente inmediato para el nacimiento de la aviación moderna.⁸

A estas aseveraciones, y a esta equiparación inmediata de las características de la imagen fotográfica a la simulación en general se podría objetar, de manera apresurada, que existen diferencias importantes en cuanto a la diferente “carga” de realidad de la primera frente a la segunda y la “evidente” referencialidad a lo real que tienen las imágenes fotoquímicas o digitales. No podemos extendernos aquí en la argumentación al respecto de la relación

[6] Se puede consultar en Amato, I. (2003).

[7] Este proyecto y otros se desarrollan desde la plataforma World Community Grid en <http://www.worldcommunitygrid.org/index.jsp>

[8] Para consultar estas ilustraciones véase VV.AA. (2008).

de las imágenes fotográficas con la *realidad* pues nos desviaríamos mucho de nuestro eje argumental, pero para un análisis exhaustivo de lo que han venido denominando Daston y Galison (2007) “reproductibilidad mecánica” y la ilusión de objetividad que supuso para la comunidad científica el nacimiento de la fotografía nos remitimos a otro trabajo nuestro anterior en el que se trata con detenimiento (López Cantos, 2011).

También se debe matizar respecto al término simulación su uso con carácter peyorativo, en el que se puede profundizar hasta cuestionar críticamente los límites de la propia esencia de la cultura contemporánea, tal como hizo por ejemplo en su momento el sociólogo francés Jean Baudrillard (1993) en su archiconocida obra *Cultura y simulacro*, o yéndonos al extremo, la absoluta falta de referencialidad y desgarró en que nos sumergen estos tiempos posmodernos, la *Era del vacío* tal como la ha denominado Lipovetsky (2003). Sin perder de vista los profundos cambios de los últimos decenios que nos han sumergido violentamente en la cultura multimedia contemporánea, la simulación no es, en sí misma, más falsa o más verdadera, como en las palabras que citábamos de Aristóteles al principio de nuestro texto, la imagen no es necesariamente más falsa que las sensaciones. Como decíamos, siguiendo a los psicólogos cognitivistas, sólo se trata de una traslación intermedia entre lo que denominamos realidad y nuestra capacidad de “imaginar”, intrínseca a nuestra propia cognición.

En definitiva, las simulaciones mediante imágenes se pueden utilizar para la exploración o con fines pedagógicos, incluso haciendo hincapié en la vertiente lúdica en lo que actualmente es el segundo par del binomio *simulation/gaming*, pero lo único que diferencia estos supuestos “rudimentos” de los vanguardistas sistemas de proceso contemporáneos es su carácter automático y su fisicidad pues, en el fondo, no son más que lo mismo, simulaciones que representan los modelos resultantes de las teorías preexistentes. Cuando interviene el vector temporal se trata de sistemas dinámicos, pero no dejan de ser simulaciones cuando tienen carácter discreto y eso vale tanto para la representación de modelos mediante objetos tridimensionales, como la generación de imágenes en movimiento o fijas por cualquier método. Y, en definitiva, la representación de modelos y la simulación está indisolublemente ligada a la investigación científica y a los propios orígenes y fundamentos de la Ciencia.

3. Simulación y representación de modelos en Ciencia.

El uso de modelos es de enorme importancia en la investigación científica para representar, por ejemplo, desde la estructura molecular de polímeros o la doble hélice del ADN a los flujos migratorios de las aves o el desarrollo epidemiológico de un virus o el cambio climático, y está ampliamente extendido en Ciencia.

Su enorme proliferación durante los últimos decenios está estrechamente ligada, en gran medida, a su facilidad de implementación y a las evidentes ventajas que ofrecen las tecnologías digitales en las tareas de constante revisión y ajuste que les son inherentes, en muchas ocasiones realizando simulaciones experimentales sobre el alcance de su aplicación y adecuación a las teorías subyacentes y los datos sobre los que se conforman a partir de la investigación empírica.

Su definición y uso, sin embargo, no está exenta de problemas y hay una ya larga tradición en Filosofía de la Ciencia que se ha ocupado de caracterizarlos y determinar sus límites. Tal como muestran Frigg y Hartmann (2006), para emprender su análisis hemos de plantearnos cuestiones en “semantics (what is the representational function that models perform?), ontology (what kind of things are models?), epistemology (how do we learn with models?), and, of course, in philosophy of science (how do models relate to theory?; what are the implications of a model based approach to science for the debates over scientific realism, reductionism, explanation and laws of nature?)”.

En lo que respecta a su relación con la representación, siguiendo a estos autores, los modelos pueden ser el resultado bien de la representación de un fenómeno de la realidad seleccionado por su interés científico para su estudio, o bien puede representar los axiomas de una teoría, sin que ambas funciones sean excluyentes ya que, obviamente, están interrelacionadas. Ejemplos de ello serían, por ejemplo, el modelo atómico de Bohr o el modelo atmosférico de Lorentz que representa la teoría general sobre la circulación en la atmósfera.

Ahora bien, la relación del modelo con el fenómeno o la teoría no está exenta de problemas respecto a qué es exactamente lo que el modelo representa y, también, la forma en que lo hace, es decir, relativas a su grado de isomorfismo con aquello que representa. Frigg y Hartmann, en este sentido, distinguen entre modelos de *escala*, *idealizados*, *analógicos*, y *fenomenológicos*, pero, a nuestro entender, estos límites tipológicos que proponen no hacen más que añadir más confusión a su definición, pues en absoluto es fácil trazar las fronteras semánticas de cada uno de los términos que proponen para su clasificación.

Sí nos parece productiva, en cambio, la distinción que hacen estos autores entre los modelos que intentan representar un fenómeno preexistente y aquellos cuyo objetivo es constituirse en una síntesis satisfactoria de datos previos obtenidos en bruto frente a aquellos otros que son el resultado de teorías. La diferencia entre los dos primeros tipos de modelos, de carácter representacional, con el tercero es su ficcionalidad y capacidad para constituirse en una emulación de algo preexistente, en distinto grado sean fenómenos o datos sobre fenómenos, o crear algo completamente nuevo y virtual cuando es resultado de una teoría previa. Obviamente, cualquiera de estos modelos descansan sobre teorías previas pero la diferencia reside en el grado de referencialidad o virtualidad subyacente, y esta es una cuestión crucial que explica la forma en que

interaccionan los modelos con las simulaciones, en tanto que representaciones con cierto grado de referencialidad o totalmente virtuales.

Los modelos en Ciencia han sido, tradicionalmente, de los dos primeros tipos expuestos, fruto de un fenómeno que pretenden emular o elaborados a partir de datos extraídos en bruto de la realidad. Es fácil entender que históricamente haya sido así debido a la fuerte restricción que la elaboración de conocimiento ha tenido hasta hace bien poco debido a su imprescindible fundamentación en los resultados de la experimentación y la investigación empírica. Sin embargo, estas imposiciones, aún siendo todavía muy fuertes, han visto relajada su aplicación a lo largo de los últimos decenios en pro de un tipo de investigación menos sujeta a los datos previos y, en consecuencia, más imaginativa gracias, en gran medida, al importante avance y aplicaciones que los sistemas informáticos permiten en nuestros días.

Y de ahí, que la simulación de modelos, en la definición restringida del término, haya crecido de manera tan espectacular, porque nunca como hasta ahora se ha podido realizar experimentos de manera virtual que nadie podía plantear en otros tiempos, bien por la imposibilidad de recoger o manejar los datos y por las limitaciones para mostrar la evolución de modelos que representen sistemas dinámicos. En palabras de Humpreys (2004) “When standard methods fail, computer simulations are often the only way to learn something about a dynamical model; they help us to ‘extend ourselves’, as it were. In situations in which the underlying model is well confirmed and understood, computer experiments may even replace real experiments, which has economic advantages and minimizes risk (as, for example, in the case of the simulation of atomic explosions)”.

Hoy en día es relativamente sencillo analizar el comportamiento sistémico de un determinado modelo de, por ejemplo, la propagación de un movimiento sísmico en las profundidades marinas y poder alertar a la población de un posible tsunami, cambiando los datos de entrada de determinadas variables y, a partir de ello, generar una simulación de los efectos resultantes. Pero, como ya hemos argumentado, la simulación ni se define de manera exclusiva por su implementación en sistemas informáticos con algoritmos matemáticos más o menos complejos ni, tampoco, por su independencia respecto a los datos o fenómenos previos que pretende representar y su grado de virtualidad. La simulación es intrínseca a los propios fundamentos de la Ciencia desde sus orígenes.

La simulación, en definitiva, está intrínsecamente ligada al desarrollo y evolución de la representación y probablemente encuentra sus orígenes en las primeras representaciones pictóricas e ideográficas y a las manifestaciones totémicas y escultóricas en general, aunque todas ellas están tamizadas por un evidente carácter mítico-religioso y, consecuencia de ello, los modelos que representan son más bien constructos culturales que específicamente derivados de los que hemos venido denominando Ciencia.

En todo caso, y al margen de una discusión que ocuparía mucho más espacio que el breve texto que nos ocupa, podemos concluir que, entendiendo la simulación de modelos en tanto que objetos resultantes de la actividad científica que trascienden la mera representación isomórfica y tiene objetivos explicativos y de síntesis, podemos datar los inicios de la simulación, cuanto menos, en el nacimiento de la cultura y las primeras representaciones pictóricas, aunque toma un especial impulso a partir de mediados del s. XV con el desarrollo de la ilustración científica.

4. Unos años atrás. Ilustración científica y representación del conocimiento.

La apuesta baconiana por la renovación de la forma de acceder al conocimiento en su conocida aseveración “I admit nothing but on the faith of the eyes” (Cfr. Panese, 2006), supuso un giro radical en cuanto a la consideración del estatuto de las imágenes a partir de su valor testimonial, pero tal como matizaba el propio Bacon respecto a las emociones que las acompañaban o provocaban, “his feelings imbue and corrupt his understanding in innumerable and sometimes imperceptible ways” (Bacon, 1854, p. 348). Por tanto, se trataba de objetivar el saber con la renuncia a estas pasiones, a la emoción, y depositar los objetos del conocimiento en un ordenado mundo de imágenes para poder presentarlas a los ojos de los hombres como representaciones fieles y verdaderas del *Libro de la Naturaleza*. Ésta fue la heroica labor que se había emprendido desde siglos atrás para la elaboración de monumentales obras como *De historia stirpium*, de Leonhard Fuchs (1542); *De humani corpori fabrica*, de Andreas Vesalius (1543); o *De historia animalium*, de Conrad Gessner, publicado entre 1551 y 1558; o algo posteriormente, haría Robert Hooke con su *Micrographia*, en 1665 y ya en pleno tránsito a lo que Daston y Galison (2007) han denominado en fechas recientes “objetividad mecánica”, y que culminaría con la invención de la fotografía, período ya tratado con detalle en otro trabajo anterior (López Cantos, 2011).

Leonardo, por ejemplo, entendía que la observación y la experiencia eran las puertas del conocimiento, mostrando así un pensamiento visual activo, lo que denominaba el mismo un “saper vedere”, y que nadie como él plasma en su extensa obra⁹. Para Descartes la imaginación, la visualización y el uso de diagramas era parte consustancial de su labor de investigación y crucial para facilitar la comunicación de la *verdad* científica, tal como recogen Jean Trumbo (2010, p. 266), o Christoph Lüthy (2006, p. 97): “In the case of most books, once we have read a few lines and looked at a few of the diagrams, the entire message is perfectly obvious. The rest is added only to fill up the paper”.

[9] El análisis de su obra se puede consultar, entre otros muchos, en Kemp, M. (1981).

Sin embargo, y a pesar de este giro radical en la consideración del estatuto de la imagen y su validez científica y comunicativa, el común proceder de manipular imágenes mentales y emborronar el papel como estrategia cognitiva cotidiana, aunque ahora ya dignificado, contiene en sí mismo tradicionales cuestiones de muy difícil resolución que han movilizadado a científicos de muy diversas disciplinas y que podemos resumir en el conocido problema de la producción y *representación* del conocimiento, que sin duda se sitúa en el eje de todas las corrientes de pensamiento clásicas y contemporáneas.

Como ha apuntado Michel Lynch (2006, pp. 26 y ss.), estudiar los aspectos relativos a la visualización científica es abordar el modo de producción científica en su conjunto, asunción que compartimos. En la misma obra colectiva, Luc Pawels (2006, pp.1 y ss.) ha ido un poco más allá y ha elaborado una clasificación de *referentes* y su relación con la *representación* y que, aunque adolezca de algunos problemas epistemológicos fundamentales respecto al alcance de ambos términos o asuma cierto modo de realismo digno de discusión, sin duda se podría mostrar operativa para abordar las cuestiones relativas a la representación visual del conocimiento y al estatuto de la imagen científica en el conjunto de la Ciencia.

Pawels distingue entre referentes materiales o físicos y mentales o conceptuales. Entre los primeros incluye los fenómenos observables y los invisibles al ojo mediante instrumentos técnicos por ser demasiado grandes o pequeños, demasiado rápidos o lentos o estar ocultos tras otras estructuras a la visión directa, incluyendo en esta categoría desde galaxias a estructuras atómicas, pasando por rápidas explosiones o lentos procesos de crecimiento en organismos vivos o el interior del cuerpo humano. En una gradación tendente a la *inmaterialidad*, que continúa con los fenómenos físicos no visuales, como el sonido y el calor, y lo que denomina “non-visual data base don observations / mesuraments” como series numéricas de datos de temperatura y similares. En el siguiente estadio de su modelo de clasificación de referentes sitúa los fenómenos que denomina “postulated”, como los agujeros negros, ya incluidos entre los mentales o conceptuales y, un poco más allá y en el extremos de esta clasificación gradual las construcciones conceptuales como las metáforas y abstracciones, o las fantasmagorías fruto de la imaginación (Pawels, pp 4 y 11).

Sin embargo, esta clasificación centrada en la relación *referente / representación* presupone cierta naturaleza estable al referente, su materialidad e incluso inmaterialidad, y obvia que cuando se abordan histórica o contingentemente las imágenes científicas, tal como advierten Lüthy y Smets: “presumes (1) that there are timeless criteria for distinguishing images from non-images; (2) that images possess a fairly stable ontological and epistemic status across the centuries; and (3) that it is possible to develop a stable classification or taxonomy of images”. Y añaden “ All three assumptions seem to us not only doubtful, but also open to refutation”.

Es extensísima la nómina de pensadores cuyo obra ha transitado por ello de un modo u otro pero, sin ánimo de detenernos más que lo imprescindible, baste con citar a Michel Foucault y a Mario Bunge, aunque un análisis siempre inacabado debería abarcar cuanto menos al propio Platón pasando por Tomás de Aquino o Guillermo de Ockam y detenerse en Heidegger, Kant, Russell, Popper, Derrida o Chomsky entre muchísimos otros. No es la intención de este breve trabajo ni está al alcance de quien suscribe estas líneas recorrer los infinitos y tortuosos vericuetos a donde nos podría derivar el análisis de la *representación* que, como es sabido, es extensiva al conjunto del conocimiento, ni siquiera exclusiva del pensamiento visual o la imagen, pero sí es necesario apuntar algunas cuestiones que nos parecen oportunas para enmarcar nuestro pensamiento al respecto.

Es conocido, como decíamos, el pensamiento visual y su impulso hacia la representación de Leonardo en cualquiera de sus hallazgos o propuestas, y con frecuencia acompañaba la mera ilustración con anotaciones y explicaciones, como lo fue para Darwin unos siglos después o Edison, o tantos otros¹⁰, que plasmaban sus teorías y modelos sobre papel como una actividad más en su práctica cotidiana de trabajo de elaboración de conocimiento científico. Por ejemplo, para Tycho Brahe, el último astrónomo que observó los cielos con la visión directa, la función de los modelos cosmológicos tridimensionales con los que trabajaba, y que mandaba construir según sus indicaciones con los materiales y las técnicas disponibles en aquellos momentos, “was primarily cognitive: to convey to another the principal motions of a particular scheme more readily than could be done with words or pictures” (Mosley, 2006). Es decir, con el fin de representar de la manera más adecuada posible su modelo teórico para facilitar el diálogo y la elaboración de conocimiento. Galileo, unos pocos años después, en 1610 y utilizando el telescopio de su propia invención, publicó en su conocida obra *Siderius Nuncius* detallados dibujos de la Luna representando la variaciones de luz y sombra en su superficie. Tycho Brahe después del estudio cuidadoso de los datos que recogía metódicamente, concluyó que el espacio se extendía más allá de la Luna y que la teoría copernicana era esencialmente cierta y los planetas se movían elípticamente alrededor del sol. Las observaciones y anotaciones gráficas de Galileo le llevaron a pronunciarse a favor también de la teoría heliocéntrica en *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems* (1632), lo que la valió la consiguiente condena y proceso por parte de la iglesia y que tiene eco hasta nuestros días en la polémica frase que supuestamente pronunció ante el Tribunal de la Inquisición en su procesamiento: “Eppur si muove”.

De esta manera la representación, sea sobre papel en dos dimensiones o con otros materiales y en tres, se convirtió en una herramienta de reconocida

[10] Se puede consultar numerosos ejemplos al respecto en Harry, R. (1992) o Ford, B. J. (1992).

utilidad en la actividad científica pero además, tal como ha señalado acertadamente Tufte, se convirtió pronto en testimonio de autoridad para la comunidad científica, “make the key link between empirical observation and credibility with the phrase ‘visible certainty’, *oculata certidune*, en palabras del propio Galileo: “What was observed by us in the third place is the nature or matter of the Milky Way itself, which, with the aid of the spyglass, may be observed so well that all the disputes that for so many generations have vexed philosophers are destroyed by *visible certainty*, and we are liberated from wordy arguments”. (cfr. Tufte, 2006, p. 101).

Son muchos los ejemplos de científicos contemporáneos que han utilizado herramientas y estrategias de aproximación visual a la resolución de problemas como Bohr, Botzmann, Einstein, Faraday, Heisenberg, Helmholtz, Herschel, Kekulé, Maxwell, Poincaré, Tesla, Watson, o Watt, tal como muestran Miller (1984), Shepard & Cooper (1982), o Nersessian (1992). Es popularmente conocida la imagen de la serpiente mordeándose la cola que evocó en su mente Kekulé y le facilitó el entendimiento de la forma de alineamiento de los seis átomos de carbono e hidrógeno en el benceno (Friedhoff, 1989), en 1865; como Niels Bohr imaginó diminutas esferas circulando en sus orbitas como planetas para desarrollar su teoría atómica; o el eficiente uso de diagramas y representaciones en 3D había llevado un siglo antes a Dalton a desarrollar el primer modelo atómico, en 1804 (Thagard & Hardy, 1992, pp. 30-37). Estudios más recientes, como el de Gruber y Bodeker (2005), se han ocupado del pensamiento visual y la creatividad como estrategia esencial de la investigación, con el ejemplo de su presencia explícita en el propio Darwin cuyo impulso gráfico plasmaba en su famoso “I think” con el que antecedía la ilustración que luego matizaba con anotaciones y explicaciones (Lüthy & Smets, 2009, pp. 398-439)¹¹. Colin McGuinn (2004), por su parte, ha analizado también con detalle la forma de proceder de matemáticos como Kekulé, Poincaré o Faraday y, yendo incluso más allá, ha concluido que el pensamiento visual, el poder de generar imágenes mentales, es decir, la imaginación creativa, es consustancial a la propia actividad científica.

Afirmación en absoluto sorprendente, a poco que nos detengamos en la cotidianidad de una experiencia, la imaginación creadora, con la que convivimos diariamente. En palabras de Nigel Thomas (2011) “*visualizing, seeing in the mind’s eye, hearing in the head, imagining the feel of, etc. is quasi-perceptual experience; it resembles perceptual experience, but occurs in the absence of the appropriate external stimuli*”.

Y, tal como muestra Rudwick (1976), en su trabajo sobre la importancia del uso de lenguajes visuales en las ciencias geológicas, o Galison (1997), en lo relativo a las estrechas relaciones entre la imagen y la lógica de la in-

[11] La ilustración se puede consultar en Harry, R. (1992), p. 160.

vestigación en microfísica, el pensamiento visual creativo es no solo común si no necesario para la elaboración de conocimiento científico. Tal como afirma con contundencia y de manera explícita Alan J. Rocke (2010, p. 339) en su esclarecedor análisis de las técnicas de investigación en Kekulé y Kopps y la revolución en Química que supusieron sus hallazgos, inferidos con estrategias eminentemente heurísticas y visuales, existen multitud de ejemplos “of productive use of the interconnected world of images, models, and ‘paper tools’ than the crucial period in the history of science when chemist first began to be convinced of the reality of their mental representations, and charted a path to show all scientists how best to explore the world beyond the immediate reach of the senses”.

5. A modo de conclusión. Unos años adelante: la imagen epistémica.

En definitiva, y tal como venimos argumentando, a lo largo de la historia sólo ha cambiado la tecnología de representación, pero no la naturaleza de ese tipo de representaciones que podemos denominar de manera genérica *imágenes epistémicas*, y las simulaciones por ordenador no son más que una modalidad de este tipo de imágenes.

En palabras de Lüthy y Smets (2009) hablamos de “epistemic image’ to refer to any image that was made with the intention of expressing, demonstrating or illustrating a theory”. De manera que podemos entender la *imagen como una especialización de la representación científica, una entre otras, y ligada estrechamente al conocimiento*, las simulaciones sólo son una modalidad más, aunque ciertamente con una capacidad demostrativa y heurística para la producción de conocimiento desconocida hasta la actualidad.

Las representaciones tridimensionales tradicionales se realizaban al principio con los rudimentarios materiales disponibles en la época y a medida que estos se hicieron más versátiles y manejables la construcción física se constituyó en toda una industria e hizo cada vez más popular y habitual el usos de modelos cosmológicos entre los astrónomos, reproducciones en cera el cuerpo humano entre los naturalistas, o prototipos mecánicos para el uso en ingeniería¹². Otros autores, como Wartofsky (1979) adopta una perspectiva más radical y no duda en asimilar la creación de modelos a las propias características inherentes de la cognición: “all models are one or another form of linguistic utterance, used to communicate and intended factually true description”. “We begin modeling, therefore, with our first mimetic acts, and with our first use of language. And we continue modeling by way of what, on various grounds, have been distinguished as analogies, models, metaphors, hypotheses, and

[12] Se puede ver al respecto por ejemplo Chen, Joseph (1999), p. 883; o Martz & Francoeur (1997).

theories.” En cualquier caso, y en definitiva, las simulaciones por muy virtuales que sean no son más que la representación de un modelo que, como tal, es prerequisite de cualquier imagen epistémica.

La nueva tecnología de representación, la simulación electrónica, tal como señala Winsberg (2010, p. 8) utiliza como estrategia básica la discretización del espacio y el tiempo, lo que se vienen denominando “diferenciación finita”, para poder hacer practicable en los ordenadores la resolución de ecuaciones diferenciales que, de por sí, son relativas a infinitesimales intervalos de cambios y, naturalmente el problema a priori también está en la identificación de los elementos del modelo teórico que subyace y que se va a simular.

La diferencia fundamental entre los modelos sobre papel y los hápticos, no es tanto relativa a la representación 2D o 3D del espacio si no relativa a su fisicidad pues, como es sabido, desde la formulación por parte de Brunelleschi de la perspectiva cónica y el desarrollo posterior hecho por Alberti (1465) que dio lugar a la formulación de la *perspectiva artificialis* o *pingendi* por parte del matemático Piero della Francesca (Gamba & Montembelli, 1996, pp. 70-77), las características espaciales que permitían diferenciar ambos tipos de representación se atenúan y, por ello, no hemos incidido en ello porque entendemos preferible abordar, tal como hemos manifestado a lo largo del texto, cualquier tipo de representación desde su carácter epistémico y no por sus características físicas o modalidades representacionales. Pero sí hay alguna diferencia fundamental, aunque no radical, en las simulaciones virtuales en relación al resto de representaciones epistémicas. Y esa característica diferencial no es la relativa a su relación con el espacio, si no con el tiempo.

En definitiva, y en conclusión, la potencia creativa de las simulaciones por ordenador, a pesar de los inherentes problemas de que adolece relativos a cualquier representación epistémica, es justificación *per se* de su rápida implementación en los más variados ámbitos de la investigación como último estadio del largo camino que emprendieron los primeros autores de aquellas monumentales y enciclopédicas obras ilustradas del s. XVI¹³. Aunque cómo hemos intentado mostrar a lo largo del trabajo, no es de recibo adoptar una postura determinista o alguna forma de positivismo lógico para abordar esta nueva forma de representación 4D y se debe analizar desde una perspectiva histórica y, huelga decir, en el seno de las teorías de los paradigmas científicos de Thomas S. Kuhn (1962).

[13] La obra de Leonard Fuchs, por ejemplo, contenía nada menos que 512 ilustraciones realizadas a partir de grabados de Füllmauer y Meyer, considerados de los mejores en su oficio en la época.

Referencias bibliográficas:

- Alberti, Leon Battista (1435): *De pictura*. Mexico: UNAM, Trad. Cast. de Rafael Martínez (1996).
- Amato, I. (2003): *Supervision. A new view of Nature*. New York: Abrahams.
- Bacon, F. (1854), *Novum Organum* p. 348. In *The Works*, ed. by Basil Montague.
- Baudrillard, J. (1993): *Cultura y simulacro*. Barcelona: Kairós.
- Chen, Joseph (199): "The Development of Anatomic Art and Sciences: The Ceroplastica Anatomic Models of La Specola", *Surgery*, October 1999 - Volume 45 - Issue 4.
- Daston, L. Y Galison, P. (2007): *Objectivity*. Brooklin: Zone Books.
- Dokic, J., & Proust, J. (Eds.). (2002). *Simulation and knowledge of action*. Amsterdam: John Benjamins.
- Ford, B. J. (1992): *Images of Science: A History of Scientific Illustration*. London: British Library.
- Friedhoff (1989): *Visualization: The Second Computer Revolution*. New York. Harry N. Abrams.
- Frigg, R. Y Hartmann, S. (2006): *Models in Science*. Stantford Enciclopedia of Philosophy
- Galileo Galilei (1632): *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, trans. by Stillman Drake, University of California Press, 1953 (revised 1967).
- Galison, P. (1997): *Image and Logic: a Material Culture of Microphysics*. Chicago: Chicago University Press.
- Gamba, E. & Montembelli, V. (1996): "Piero della Francesca matematico", *American Scientific*, n. 331.
- Goldmans, Nace & Wilson (2009): "A brief history of simulation", *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*.
- Gruber, H.E. & Bödeker, K. (2005): *Creativity, Psychology and the History of Science*, Boston Studies in the Philosophy and History of Science, Volume 245. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Grüne-Yanoff & Weirich (2010): "The Philosophy and Epistemology of Simulation: A Review", *Simulation Gaming*, num. 41.
- Harry, R. (1992): *The Scientific Image: from cave to computer*. New York: Abrahams, p. 160.
- Humphreys, P. (2004): *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford: Oxford University Press.
- Kemp, M. (1981): Leonardo da Vinci : The Marvellous Works of Nature and Man. London: Dent.

Kemp, M. (1981): *Leonardo da Vinci : The Marvellous Works of Nature and Man*. London: Dent.

Kosslyn, S. M. (1983): *Ghosts in the Mind's Machine: Creating and Using Images in the Brain*. Nueva York: W. Norton.

Kosslyn, S. M. (1987): "Imágenes mentales: ¿una creación imaginaria?", en Gardner, H. *La nueva ciencia de la mente. Historia de la revolución cognitiva*. Barcelona: Paidós.

Kuhn, T. S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago University Press.

Lipovetsky, G. (2003): *La era del vacío*, Barcelona: Anagrama.

López Cantos, F. (2011): "La imagen científica: tecnología y artefacto", *Revista Mediterránea de Comunicación*, n. 1, pp. 158-172.

Lüthy, C. (2006): "Where Logical Necessity Becomes Visual Persuasion: Descartes's Clear and Distinct Illustrations, *Transmitting Knowledge: Words, images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford. Oxford University Press, p. 97.

Lüthy, C. & Smets, A. (2009): "Words, Lines, Diagrams, Images: Towards a History of Scientific Imagery", *Early Science and Medicine*, 14.

Lynch, M. (2006): "The Production of Scientific Images. Vision and Re-Vision in the History, Philosophy, and Sociology of Science", *Visual Cultures of Science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Hanover, N.H.: Dartmouth Collegue Press.

Mandelbrot, B. (1990): "Montañas y dragones fractales. La intuición en las matemáticas y en las ciencias", en VV.AA. *Sobre la imaginación científica*. Barcelona: Tusquets.

Martz, E. & Francoeur E. (1997): *History of Visualization of Biological Macromolecules* URL = <http://www.umass.edu/microbio/rasmol/history.htm>>; VV. AA. (2003) *3D-Printing the History of Mechanisms*, Cornell University. URL = < <http://www.ecommons.cornell.edu/bitstream/1813/2715/1/2003-6.pdf>>.

Mcguinn, C. (2004): *Mindsight: Image, Dream, Meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Miller, A. I. (1984). *Imagery in Scientific Thought: Creating Twentieth Century Physics*. Boston: Birkhauser.

Mosley, A. (2006): "Objects of Knowledge: Mathematics and Models in Sixteenth-Century Cosmology and Astronomy", *Transmitting Knowledge: Words, images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford. Oxford University Press.

Nersessian, N. J. (1992). "How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science", en Giere, R. N. (ed.): *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN.

Panese, F. (2006): “The Accursed Part of Scientific Iconography”, *Visual Cultures of Science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Hanover, N.H.: Dartmouth Collegue Press.

Pawels, L. (2006): “A Theoretical Framework for Assessing Visual Representations. Practices in Knowledge Building and Science Communication”, *Visual Cultures of Science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Hanover, N.H.: Dartmouth Collegue Press.

Rocke, A. J. (2010): *Image & Reality*. Chicago: Chicago University Press.

Rudwick, M. (1976): “The emergence of visual language for geological science, 1760-1840”. *History of Science*, 14:149-95.

Shepard, R. & Cooper, L. (1982). *Mental Images and their Transformations* Cambridge, MA: MIT Press.

Thagard, P. & Hardy, S. (1992): “Visual thinking and the development of Dalton’s atomic theory”, *Proceedings of the Ninth Canadian Conference on Artificial Intelligence*. Vancouver.

Thomas, Nigel J.T., “Mental Imagery”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2011 Edition)*, Edward N. ZALTA (ed.), URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/mental-imagery/>>.

Trumbo, J. (2010): “Making Science Visible: Visual Literacy in Science Communication”, *Visual Cultures of Science: rethinking representational practices in knowledge building and science communication*. Hanover, N.H.: Dartmouth Collegue Press.

Tufte, E. (2006) *Beautiful Evidence*, Cheshire: Graphic Press.

VV.AA. (2008): *El mundo descrito*. Madrid: Fundación ICO.

Wartofsky, M. W.c (1979): *Models : representation and the scientific understanding*. Dordrecht, London: Reidel.

Winsberg, E. (2010): *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago, London: Chicago University Press.