



Título artículo / Títol article: La representación visual del conocimiento.
De la ilustración científica a la simulación
virtual de modelos

Autores / Autors Francisco López Cantos

Revista: IBEROCOM Revista Iberoamericana de
Ciencias de la Comunicación

Versión / Versió: Versió pre-print

**Cita bibliográfica / Cita
bibliogràfica (ISO 690):** LÓPEZ CANTOS, Francisco. La
representación visual del conocimiento.
De la ilustración científica a la simulación
virtual de modelos. *IBEROCOM Revista
Iberoamericana de Ciencias de la
Comunicación*, 2013, no 2, p. 5-22.

url Repositori UJI: <http://hdl.handle.net/10234/89029>

La representación visual del conocimiento. De la ilustración científica a la simulación virtual de modelos.



Francisco López Cantos - Profesor en Universitat Jaume I. Coordinador de Prácticas en Empresas. Doctor en Comunicación Audiovisual y Publicidad por la Universidad Jaume I de Castellón con la tesis *La televisión local en España*. Ha participado en varios proyectos de innovación educativa y realizado estancias de trabajo en algunos países como Brasil, Portugal o Reino Unido, centrandó sus investigaciones en las áreas de tecnologías de televisión y producción audiovisual y, sobre todo, en aspectos relativos a las televisiones universitarias y la comunicación para el desarrollo.

Actualmente su trabajo de investigación se ocupa de las áreas de tecnologías de la imagen en general y, específicamente, de los aspectos relativos a la producción, distribución y particularidades de las imágenes de carácter científico.

Resúmen: La representación visual y su relación con la producción de conocimiento científico ha sido objeto de análisis en la historia del pensamiento occidental desde los clásicos y está recibiendo especial atención en las últimas décadas desde las más variadas áreas y tradiciones académicas aunque de manera dispersa pero, muchas veces, mostrando visiones parciales y sin asomo alguno de la interdisciplinariedad con que, en nuestra opinión, se debe emprender cualquier investigación al respecto. En este trabajo analizamos las representaciones visuales en ciencia desde una perspectiva ecléctica y multidisciplinar que nos permite recorrer, de un lado, los diversos enfoques y tradiciones de pensamiento desde los que se ha venido abordando su particular naturaleza y, de otro, nos ayuda a determinar sus aspectos característicos con el objetivo último de podernos proporcionar un marco mínimamente estable desde el que poder avanzar en futuras investigaciones al respecto y poner en valor el relevante papel de las imágenes tienen para el desarrollo del conocimiento científico.

Palabras-clave: imagen, representación, modelos, simulación, ilustración.

ARTIGO SEM REVISÃO
ARTÍCULO SIN REVISIÓN

“We can know more than we can tell”
M. Polany, 1967¹.

1. Introducción

Es del todo común y conocida la imposibilidad de verbalizar y comunicar multitud de sensaciones y experiencias cotidianas y la dificultad del “decir” lo inaprensible por la razón y sólo accesible por medio de la emoción y la intuición. Su estudio viene siendo una constante en la historia del pensamiento occidental desde la *Poetica* aristotélica o el *Gorgias* de Platón en los que aplica los consabidos conceptos de *inspiración* y *mímesis* aplicados a la teoría de la literatura y la retórica, cuya continuación, con ánimo pedagógico, en *De Institutione Oratoria* de Quintiliano², consolida una tradición en la historia del pensamiento occidental alrededor de los aspectos relativos a las técnicas de *persuasión* y *argumentación*, por ejemplo en los que nos interesa, en la obras aplicadas a la ciencia de Bunge o Leatherdale³, o otras abordadas desde la comunicación y la historia de la ciencia o la pedagogía como en Knight, o Vickery, o Mazzolini, o Barlex and Carré⁴. Es obvio, en todo caso, que sabemos mucho más de lo que podemos expresar mediante la palabra pero no conocemos exactamente cómo abordar esta forma de saber y, tal como plantea Michel Polany, debemos reconsiderar la naturaleza del conocimiento humano partiendo de ese hecho y es necesario abordar las implicaciones profundas que tan aparentemente banal aseveración tiene en un sistema de conocimiento eminente verbal y fundamentado en la palabra y la dialéctica de la razón.

Polanyi pone como ejemplo nuestra capacidad para reconocer a una persona entre millones como única y a partir de ello plantea con claridad el problema del *decir*, que se convierte en una dificultad insalvable cuando intentamos seleccionar y describir los atributos significativos de la fisionomía característica de ese

rostro y comunicarlo. El *decir* racional y ordenado de sus características a nuestro hipotético interlocutor se muestra del todo insatisfactorio para nuestros fines comunicativos y, aunque seamos conscientes de nuestra capacidad para reconocer a esa persona entre millones, difícilmente podemos verbalizar tal conocimiento.

Los intentos de reproducción utilizando medios verbales y la reconstrucción estructural son del todo ineficientes, y es más, completamente inapropiada la consideración común de que tales imperfecciones son solo coyunturales. Se pueden utilizar en nuestros días equipamientos informáticos que pueden generar la imagen del rostro hipotético de un sujeto para ayudar, por ejemplo, en una investigación policial, pero no es cuestión de ir superando progresivamente tales inconvenientes con la fuerza bruta de la tecnología, si no de la inadecuación de la estrategia de reproducción: disponer una fotografía, o incluso una caricatura, del sujeto, aún con sus limitaciones para la representación, sería mucho más efectivo y, sin duda, nuestro interlocutor nos indicaría en un instante si conoce o no ese rostro. Polany llama a este tipo de saber *conocimiento tácito*, y remarca la poderosísima efectividad que esta forma de cognición holística tiene en el desarrollo del trabajo de investigación científica y artística.

Para realizar una comunicación más efectiva de nuestro conocimiento imposible de *decir* ya no nos sirve la palabra, el verbo y, ya que no estamos dotados en modo alguno para comunicarnos más que con la voz y rudimentarios gestos no-verbales, necesariamente debemos utilizar un modo de representación, un medio mucho más eficiente para nuestros fines: la comunicación no verbal, y más específicamente en lo que nos ocupa, la imagen, en sus diversas acepciones. Siguiendo a Polany, *el conocimiento tácito* se debe tener en cuenta

para abordar de manera apropiada los problemas y aproximarse a sus soluciones y, también, para anticipar adecuadamente sus implicaciones derivadas. En definitiva, en la elaboración y comunicación de este tipo de conocimiento, frente a las probadas deficiencias de la verbalización, sólo no sirven como herramientas las imágenes, y se ha de reconsiderar su papel en el desarrollo de la investigación científica.

2. El pensamiento visual. Cognición y creación de conocimiento.

La curiosidad por el conocimiento y la necesidad de comprender y mejorar situaciones prácticas se encuentran en el germen de la actividad científica, y se puede considerar que tal actividad consiste en la resolución de problemas de carácter epistemológico y empírico. El matemático George Pólya, ha realizado una pertinente aproximación a ello desde este punto de vista en *How to solve it*⁵, estableciendo una serie de procedimientos genéricos para abordar los problemas y popularizando lo que se ha venido conociendo como aproximación *heurística*, en tanto que capacidad inherente al ser humano que, precisamente, integra lo que Polany había venido denominando *conocimiento tácito*, y es fundamental en procesos creativos como son la investigación científica y artística.

Según muestra Pólya, para la resolución de problemas es más eficaz la utilización de estrategias heurísticas como la analogía, la generalización o la inducción, entre otras, y una de las herramientas por excelencia para ello es la representación gráfica o esquemática del problema, que va a permitir una visión global del mismo y la búsqueda y comparación con patrones análogos. Esta forma de aproximación visual a la resolución de problemas es muy común entre los matemáticos y, a pesar de lo que pudiera parecer, en la actividad cien-

tífica en general, aunque es muy poco reconocida como estrategia cognitiva entre los propios investigadores. La psicóloga clínica Anne Roe, en un conocido estudio sobre una muestra de científicos americanos de diversas disciplinas⁶, concluyó que el pensamiento visual era común en todos ellos pero, en cambio, muy difícil de analizar porque las entrevistas para extraer los datos retrospectivos no eran satisfactorias: los científicos no estaban acostumbrados a ese tipo de introspección y al reconocimiento consciente de su patrón visual de pensamiento.

Son muchos los ejemplos de científicos 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, Shepard, o Nersessian⁷. Es popularmente conocida la imagen de la serpiente mordiendo 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 benceno⁸, 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 1804⁹. Estudios más recientes, como el de Gruber y Bodeker¹⁰, 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 explicaciones¹¹. Colin McGuinn¹², 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 Thomas¹³ “*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*”. A las imágenes mentales con frecuencia se las caracteriza igualmente por ser reconstrucciones que evocan episodios experienciales pasados o, bien, se las relaciona con la intuición por tratarse de anticipaciones de situaciones futuras. En todo caso, está extensamente probada su estrecha relación con la memoria y la resolución de problemas y, en definitiva, con los procesos cognitivos. En definitiva, las imágenes mentales son fenómenos experimentados con carácter interno y de formas diversas pero, además, pueden ser generadas de manera intencional, es decir, son en sí mismas creativas precisamente por carecer de estímulos externos y por poder ser elaboradas funcionalmente con objetivos específicos.

El rol que juega la imaginación y las imágenes en la cognición humana ha sido objeto de tratamiento filosófico desde lo engañosas que para Platon eran las evocaciones mentales en su ideal mundo de las ideas expresado en la metáfora de la caverna, a su potencial para conducirnos al error que les reconocía Aristóteles, y hasta la actualidad. Filósofos como Descartes, Hobbes, Locke, Berkeley o Kant, Russell, Bergson o Wittgenstein, o psicólogos como Pylyshin, Shepard, Kosslyn o Gardner, entre muchos otros, se han ocupado de la

representación mental pero, sin duda, lo que ha creado mayores controversias ha sido la caracterización de lo que se ha venido denominando *imágenes mentales*.

No es objeto de estudio abordar tan inabarcable empresa, aunque en todo caso, cabe dar constancia de su existencia e importancia cognitiva y potencial creativo. Y no es en absoluto sorprendente que el pensamiento visual sea consustancial a la elaboración del conocimiento, a la actividad científica, como proceso cognitivo básico que es, aunque ciertamente relegado ante la a veces inapelable supremacía que se ha dado a la Razón, a las ideas, al Verbo, en la historia del pensamiento. Como tampoco es en absoluto extraño que las imágenes, las representaciones visuales, constituyan un elemento central en el desarrollo de la Ciencia, una herramienta útil para poder *decir* más allá de las limitaciones propias de la palabra, y no solo para comunicar el conocimiento, sino como parte sustancial en su propia creación.

Y, tal como muestra Rudwick, en su trabajo sobre la importancia del uso de lenguajes visuales en las ciencias geológicas, o Galison, en lo relativo a las estrechas relaciones entre la imagen y la lógica de la investigación en microfísica¹⁴, 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. Rocke¹⁵ 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 char-
ted a path to show all scientists how best
to explore the world beyond the imme-
diate reach of the senses”.

Es definitiva, son multitud los ca-
sos que nos permiten afirmar que *las*
ciencias se constituyen alrededor de len-
guajes visuales y objetos de trabajo, y el
pensamiento visual creativo es sustancial
al desarrollo del conocimiento científico.

3. El problema de la representación. La imagen epistémica.

El pensamiento visual y el estatuto
de las imágenes en el seno de la inves-
tigación y su validez para la elaboración
de conocimiento científico es muy co-
mún y efectivo, tal como decimos pero,
sin embargo y como es sabido, ha sido
muy cuestionado a lo largo de la historia
del pensamiento occidental y, desde los
clásicos, se ha venido considerando a
las imágenes engañosas o directamente
falsas y la imaginación una trampa de
la razón. Tal como el propio Aristóteles
argumentaba “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 imagi-
nación. Por otra parte, si fueran lo mis-
mo en acto, la imaginación podría darse
en todas las bestias; sin embargo, no
parece que así sea en la hormiga, la abe-
ja o el gusano. Más aún, las sensaciones
son siempre verdaderas mientras que
las imágenes son en su mayoría fal-
sas”¹⁶.

Sin embargo, la apuesta baconiana
por la renovación de la forma de acceder
al conocimiento en su conocida asevera-
ción “I admit nothing but on the faith of
the eyes”¹⁷, supuso un giro radical en
cuanto a la consideración del estatuto

de las imágenes a partir de su valor tes-
timonial, pero tal como matizaba el pro-
pio Bacon respecto a las emociones que
las acompañaban o provocaban, “his
feelings imbue and corrupt his under-
standing in innumerable and sometimes
imperceptible ways”¹⁸. Por tanto, se tra-
taba de objetivar el saber con la renun-
cia a estas pasiones, a la emoción, y de-
positar los objetos del conocimiento en
un ordenado mundo de imágenes para
poder presentarlas a los ojos de los hom-
bres como representaciones fieles y ver-
daderas del *Libro de la Naturaleza*. Ésta
fue la heroica labor que se había em-
prendido desde siglos atrás para la ela-
boración de monumentales obras como
De historia stirpium, de Leonhard Fuchs
(1542); *De humani corpori fabrica*, de An-
dreas Vesalius (1543); o *De historia ani-*
malium, de Conrad Gessner, publicado
entre 1551 y 1558; o algo posteriormen-
te, haría Robert Hooke con su *Microgra-*
phia, en 1665 y ya en pleno tránsito a lo
que Daston y Galison han denominado
en fechas recientes “objetividad mecáni-
ca”¹⁹, y que culminaría con la invención
de la fotografía, período ya tratado con
detalle en otro trabajo anterior²⁰.

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 exten-
sa obra²¹. Para Descartes la imagina-
ción, la visualización y el uso de diagra-
mas era parte consustancial de su labor
de investigación y crucial para facilitar
la comunicación de la *verdad* científica,
tal como recogen Jean Trumbo²² o Chris-
toph Lüthy: “In the case of most books,
once we have read a few lines and looked
at a few of the diagrams, the entire mes-
sage is perfectly obvious. The rest is
added only to fill up the paper”²³.

Sin embargo, y a pesar de este giro
radical en la consideración del estatuto
de la imagen y su validez científica y co-

municativa, 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 movilizad o 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 Lynch²⁴, 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 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.

Pawels²⁵ 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 extremo de esta clasificación gradual las construcciones conceptuales como las metáforas y abstracciones, o las fantasmagorías fruto de la imaginación²⁶.

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”²⁷.

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 los que 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.

Nos parece de lo más pertinente y así la asumimos como propia, la tesis que Michel Foucault plantea en su seminal obra *Las palabras y las cosas*²⁸, en la que establece los *principios de identidad y de repetición* como presupuestos básicos en toda *representación*. En palabras de Victor Bravo: “Foucault nos advierte que la repetición se encuentra en el seno de la identidad, en los reconocimientos de la mimesis, de la verosimilitud, de la semejanza. La representación es una repetición por semejanza”. Y, “si la representación es lo dado como inteligibilidad del orden y lo real, el pensamiento moderno ha descubierto la repetición como germen, tanto de la representación como de la crítica de la representación; sea la repetición de la identidad o de la diferencia, en tanto que presupuestos subordinados a la normalidad del sentido”²⁹. Menos radical se muestra al respecto Mario Bunge, por poner otro ejemplo que también compartimos, quien reflexionando sobre la relación de los modelos en Ciencia con sus referentes apunta que “The representation of a concrete object is always partial and more or less conventional. The model object will miss certain traits of its referent, it is apt to include imaginary elements, and will recapture only approximately the relations among aspects it does incorporate”³⁰.

En cualquier caso, y más allá de la radicalidad del enfoque, los problemas relativos a la *representación* y su relación con el referente son constitutivos de la propia actividad científica se encuentra ya muy presente en autores de obras ilustradas monumentales como las de Fuchs o Vesalius. Y ya en obras clásicas como las suyas, tal como ha apuntado Kusukawa en un reciente estudio³¹, los autores en su afán de fijar el conocimiento intentaban crear, no sin dificul-

tades, representaciones ideales elaboradas que se pretendían de carácter absoluto: “the objects, as depicted in the Works of Fuchs and Vesalius, could never been encountered as such in nature. The pictured objects exist on paper, in the learned printed books, showing the objects that were to be studied in those books in the right way, as the authors would have it”. Eran conocedores de los problemas inherentes a la representación, pues en muchas ocasiones los referentes estaban en malas condiciones o el propio sistema de grabado de la época generaba innumerables problemas relativos a la fidelidad de la reproducción, lo que les obligaba a mantener un férreo control sobre el proceso de impresión. Sin embargo, obviaban tales inconvenientes, justificando que tales imágenes tenían una función eminentemente didáctica. En todo caso, tal como apunta la autora, el hecho de que fueran idealizaciones absolutas no las dotaba de autonomía propia *per se* y complementaban las ilustraciones con explicaciones textuales: “the text and the images were interdependent”³².

Son numerosos los ejemplos de estos usos cognitivos y comunicativos de la *representación* en la actividad científica, independientemente de que formalmente se plasme verbal o visualmente o en cualquier grado de interdependencia entre ambos extremos, aunque son especialmente comunes, tal como ha hecho notar entre otros Tufte³³, lo que el autor ha venido denominando *mapped pictures*, un tipo de ilustraciones que “combine representational images with scales, diagrams, overlays, number, words, images”.

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 otros³⁴, que plasmaban sus teorías y modelos sobre papel como una actividad 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 o pictures”³⁵, 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 Nuncios* detallados dibujos de la superficie lunar representando las variaciones de luz y sombra en su superficie. Tycho Brahe después del estudio cuidadoso de los datos que recogía 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 de Galileo le llevaron a pronunciarse a favor también de la teoría heliocéntrica en *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*³⁶, 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 utilidad en la actividad científico pero además, tal como ha señalado acertadamente Tufte, se convirtió pronto en testi-

monio 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”³⁷.

Por nuestra parte, y al margen de los debates sobre la objetividad científica ya tratados en otro artículo como expresábamos más arriba, preferimos abordar las representaciones científicas desde su naturaleza *epistémica*, que sí nos parece una característica inherente a todas ellas, independientemente de su plasmación en dos o tres dimensiones. En este sentido, haciendo propia la opción de Lüthy y Smert, nos referiremos a las imágenes inherentes o producto de la actividad científica como *imágenes epistémicas*: “‘epistemic image’ to refer to any image that was made with the intention of expressing, demonstrating or illustrating a theory”³⁸, de manera que podemos entender la *imagen como una especialización de la representación científica, una entre otras, y ligada estrechamente al conocimiento*.

4. Representación visual de teorías y modelos. Del 2D al 3D.

La representación es, como venimos relatando, intrínseca a los procesos creativos y a la cognición y el pensamiento visual, y la imaginación creadora o la *image-ination* en la denominación de Rocke³⁹, es, en este sentido, una potentísima herramienta heurística y cognitiva por excelencia. La representación, y especialmente la representación visual or *visual phantasy* en palabras de Bunge⁴⁰ es, además, a “good crutch of

pure reason”, aunque en una postura menos radical matiza, “but not substitute for it.”

No es objeto de este trabajo, como venimos señalando, analizar la forma de interrelación entre el pensamiento proposicional y visual y el estatuto de ambos en la cognición pero sí cabe constatar que, sin duda, la creación científica, tal como hemos mostrado, ha hecho uso extensivo del pensamiento y representación visual y es innegable su papel en la generación y desarrollo de conocimiento. En nuestra opinión, además e independientemente de la relevancia de un tipo de pensamiento frente a otro, sí existen evidentes puntos de confluencia e interrelación entre ellos y, de manera clara, ambos operan con pleno derecho en una de las herramientas más cotidianas y efectivas en la práctica de la investigación científica: la elaboración de modelos.

Los modelos, como tales, son la expresión y/o demostración de teorías previas pero, también, pueden ser precursores en la creación de nuevas teorías, y es evidente que modelos y teorías están interrelacionados, aunque es difícil establecer de qué manera tal como ha señalado Frigg⁴¹: “One of the most perplexing questions in connection with models is how they relate to theories. The separation between models and theory is a very hazy one and in the jargon of many scientists it is often difficult, if not impossible, to draw a line”. No obstante, e independiente de este insalvable escollo, los modelos, siguiendo a este autor, se pueden abordar desde aspectos semánticos, es decir su capacidad representacional y significativa; la ontología, su naturaleza; o la epistemología, es decir su relación con el conocimiento.

Resulta aceptable, en definitiva y al menos en nuestra opinión, caracterizar los modelos como *idealizaciones* o mejor *representaciones idealizadas*. Y, aunque existe una extensa larga tradi-

ción filosófica al respecto desde, al menos, Platón, sirva como válida la definición al respecto de Keller que distingue entre modelos *por* y modelos *de*: “characterises models as tools for various kinds of scientific activities, such as material intervention or concept and theory development, in addition to their role in representing objects (or phenomena) already in existence, models of things”⁴².

Existe además, una segunda acepción del término que está específicamente centrada en el referente y es común sobre toda en la actividad artística. Nos referimos a la forma común de denominar *modelos* a los sujetos u objetos a representar artísticamente, entroncando profundamente, en nuestra opinión, con la más clásica tradición platónica que opera sobre el binomio modelo/copia y se sustenta en el concepto de ideal. En esta intencional idealización de la representación y del propio referente subyace lo que se ha venido conociendo en la tradición clásica como el *Canon*, que se pueden encontrar con facilidad en multitud de manifestaciones contemporáneas pero, en lo que nos interesa, también en la forma de abordar la actividad científica de autores de monumentales obras ilustradas clásicas.

Tal como ha apuntado oportunamente Kusukawa⁴³, la producción ilustraciones en las obras monumentales de Fuchs o Vesalius estaba relacionada con el proyecto de recuperación de autores como Dioscorides o Galeno y fundamentada en las fuentes del clasicismo, adoptando de manera explícita por ejemplo en Vesalius la idea de *Canon* del escultor Polycleitus (450-420bc). Estas ilustraciones, a veces diacrónicas, tenían sobre todo carácter pedagógico pero nos parece tanto o más relevante su intencionalidad de erigirse en *modelos* sobre el resto de representaciones del conocimiento que circulaban en la época, tal como hicieron las citadas obras o la His-

toria Animalium de Gessner⁴⁴, apelando a los clásicos y a la *completitud* enciclopédica de su empresa editorial.

Sin embargo, el problema foucaltiano de la identidad y su relación con la diferenciación y la repetición estaba ya muy presente en estas primeras *imágenes epistémicas* y, como ha apuntado Kusukawa, las obras de estos autores no estuvieron exentas de crítica por parte de sus contemporáneos, manifestando por ejemplo que “from live plants one can often recognize their pictures, but from pictured plants, one could never gain new knowledge of live plants”, o “pointed eschewed the idea of an canonical body altogether, and chose to depict individual, particular organs, with their subtle individual differences in size, shape, and configuration”⁴⁵.

Un poco después se empezó a elaborar un método de validación científica que, al hilo de los nuevos horizontes de la Razón, acabó de trasladar la autoridad de la Ciencia a terrenos más mundanos que la autoridad cuasi-divina atribuida a los clásicos y plasmada en la reproducción ideal de la Naturaleza, en una pirueta metodológica de gran transcendencia que a continuación comentamos.

Pero, no obstante, conviene detenernos antes un instante e insistir en que las imágenes, tal como venimos apuntando, son sólo una representación especializada en dos dimensiones de los modelos científicos y se elaboran a partir de teorías-modelos conceptuales, de similar manera a los constructos físicos tridimensionales a los que también se les llama de manera común modelos pero que son sólo un tipo específico de representaciones epistémicas.

Las representaciones tridimensionales 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 uso de modelos cosmológicos entre los astrónomos, reproducciones en cera el cuerpo humano entre los naturalistas, o prototipos mecánicos para el uso en ingeniería⁴⁶. Tal como ha apuntado Jordanova⁴⁷, al igual modo que lo hemos hecho nosotros en relación a las representaciones en general, los modelos (materiales) “have long been an important issue in the history of science, medicine, and technology, thanks particularly to the concern of philosophers and sociologists with models as heuristic devices for scientific thinking”. Otros autores, como Wartofsky⁴⁸ 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 theories.”

En lo que nos interesa, y sin ánimo de profundizar en la complejidad de determinar el lugar de las teorías-modelos en el conjunto de la actividad científica, si podemos afirmar que cualquier representación epistémica, sea tridimensional o bidimensional, toda vez que se constituye en un objeto independiente de su referente, sea este material o inmaterial, especialmente desde su validez testimonial ya comentada en tanto que *oculata certitudine*, cobra *autonomía propia como representación epistémico autoreferencial*.

Y, más allá de las consideraciones semánticas, ontológicas o epistemológicas con que podamos abordar esa representación, se constituye en sí misma en lo que se ha venido denominando contemporáneamente *virtual testi-*

ficación, en una pirueta en relación a la forma de entender las imágenes y el conocimiento de nuclear importancia en la práctica y el propio método de investigación científica, tanto para su convalidación como para su reproductibilidad.

En palabras de Boyle, recogidas por Shapin y Schaffer de las páginas introductorias de *New Experiments*⁴⁹: “virtual witnessing: the pictorial and verbal means through which readers are given a sense of having experienced the events described in a report”.

En este sentido, entendemos que desde Galileo a Boyle se había producido un salto cualitativo importante, de no menos relevancia que el ya reseñado se produjo desde Aristóteles a Descartes en relativo a la consideración de la validez de las imágenes y su valor testimonial. Con las anotaciones con que Boyle anota y otorga validez y universalidad a su experimento, en lo que Shapin y Schaffer han denominado como decimos “technology of virtual witnessing”, se acaba de trascender el lugar indiscutible de la autoridad clásica. Una pirueta que, de un lado, adopta el consenso y el diálogo intersubjetivo como forma de validación del conocimiento pero que, de otro, deposita éste en representaciones epistémicas, sean de dos o tres dimensiones, que se empiezan a distribuir entre la comunidad científica como portadores, y objetos contingentes, de ese conocimiento científico. En el fondo, y en definitiva, podemos considerar que con ello acaba de cumplimentarse el acta de defunción del pensamiento clásico y se refunda de sus cenizas una nueva forma de elaboración y producción del conocimiento, o lo que alguien diría con más contundencia en términos nietschzianos, la muerte de dios.

En definitiva, y tal como muestran los ejemplos reseñados, las *representaciones epistémicas se constituyen en objetos autónomos idealizados a los que se*

transfiere el estatuto de autoridad de un sistema de validación del conocimiento científico fundamentado en la testificación virtual.

5. La producción y representación contemporánea del conocimiento científico.

Esta forma de garantía colectiva de la validez del conocimiento, y específicamente forma de establecer la idoneidad de las ilustraciones para su distribución entre la comunidad científica, ha sido expuesta por Kusukawa en lo relativo a la forma de proceder de la Royal Society a finales del s. XVII cuando comenzó a publicar en su seno *Philosophical Transactions*⁵⁰, mostrando prácticas intersubjetivas para la toma de decisiones y la sanción del conocimiento. Prácticas nada alejadas de las comunes en la actividad científica en los laboratorios contemporáneos, templo de la mediación y consenso técnico entre colectivos científicos para la producción del conocimiento en nuestros días, y que han sido abordadas críticamente en numerosas ocasiones durante las últimas décadas, entre otros, por Knorr-Cetina, Latour y Woolgar, o Lynch y Woolgar desde una perspectiva sociológica y constructivista⁵¹. Pero nos interesa especialmente la perspectiva micro-semiótica adoptaba en un trabajo muy reciente por Allamel-Raffin para el estudio la forma de producción de conocimiento en un laboratorio de nanociencia.

El trabajo de Allamel-Raffin⁵², analiza los intercambios conversacionales de las personas implicadas en la captación y validación de las imágenes registradas por un microscopio electrónico de transmisión (TEM) en el Institute of Physics and Chemistry of Materials in Strasbourg, y sus presupuestos de partida y conclusiones no están en absoluto alejados de las preocupaciones clásicas en lo relativo a la representación y los

argumentos críticos al respecto. Kusu-kawa⁵³ se ha hecho eco de los inconvenientes del proceso de elaboración de las ilustraciones y, como ha señalado, al menos, eran de tres tipos: relativas a la condición del original y su adecuación al interés del estudio, asociadas a las personas que se ocupaba de realizar las ilustraciones y, finalmente, las inherentes al medio de impresión. Para Allamel-Raffin en su análisis de la forma de producción de imágenes del TEM en el laboratorio la falta de referente macroscópico externo, la distinción de “artefactos” entendidos como efectos indeseados introducidos por el sistema técnico, y la generalización del significado de las imágenes, se revelan como problemas inherentes a la actividad científica. Y, poniendo como ejemplo la dificultad entre investigador y técnico para seleccionar y validar la imagen obtenida resalta, en última instancia, lo crítico que resulta en todo modo poder estabilizar el conocimiento y algo que ya hemos reseñado más arriba, la *autonomía* que adquiere la representación respecto a su referente.

No estamos nada lejos de los problemas asociados a la identificación y la repetición foucaltianos, como tampoco de los problemas clásicos en las rutinas de producción de ilustraciones en las obras monumentales mencionadas, en las que no era inhabitual encontrar dificultades en la selección y caracterización de los especímenes, como tampoco es nada fácil dotar de validez las imágenes electrónicas obtenidas en el laboratorio, según muestra el estudio comentado. La diferencia entre el grado de materialidad del referente y su relación con la visión humana de las imágenes del TEM y las reproducidas por medio de la observación directa de la naturaleza no es significativa en lo sustancial, y es igual de evidente la necesaria “dulcificación” del objeto de estudio para adecuarlo a los intereses de la investigación,

en palabras de Latour “you have to invent objects wich have the properties of being *mobile* but also *immutable, presentable, readable* and *combinable* with one another”⁵⁴.

También resulta del todo contemporánea la *oculata certitudine* de Galileo atribuida a las imágenes *per se* en el entorno de trabajo del laboratorio y en la práctica cotidiana de producción y elaboración de conocimiento. Y tampoco estamos muy lejos de las pretensiones clásicas de carácter pedagógico o dialéctico que se atribuía a las representaciones epistémicas tanto como la *virtual witnessing*, que extiende la “cadena de verdad”, también en palabras de Latour en lo relativo al trabajo del laboratorio, con que se sanciona su validez entre la comunidad científica en la actualidad.

En realidad, y en definitiva, no hemos hecho más que constatar que este tipo de *elaboraciones de carácter representacional y epistémico deben abordarse desde su inestable condición y las premisas foucaltianas de identidad y repetición.*

6. A modo de conclusión.

A lo largo del texto hemos analizado las características y relevancia que las imágenes tienen en la creación de conocimiento y su contrastada utilidad como herramienta heurística para el desarrollo de la investigación científica.

Hemos demostrado que podemos abordar la imagen *como una especialización de la representación científica, una entre otras, y ligada estrechamente al conocimiento.* Más concretamente, y tal como hemos argumentado y muestran los ejemplos reseñados a lo largo del trabajo, las imágenes son *representaciones epistémicas que se constituyen en objetos autónomos idealizados a los que se transfiere el estatuto de autoridad de un sistema de validación del conocimiento científico fundamentado en la testi-*

ficación virtual.

Sin duda, y como conclusión final, podemos afirmar que *las ciencias se constituyen alrededor de lenguajes visuales y objetos de trabajo, y el pensamiento visual creativo es sustancial al desarrollo del conocimiento científico.*

En definitiva, se ha de reconsiderar el papel de las imágenes en la elaboración y comunicación de conocimiento y en el desarrollo de la investigación científica.

Creemos que el paradigma con el que se abordan la representación científica debe revisarse a la luz de las transformaciones que las nuevas herramientas tecnológicas de simulación en la producción de conocimiento científico y así daremos brevemente cuenta de ello a continuación y a modo de conclusión. Entendemos, por supuesto, que cualquier análisis de las representaciones bi o tridimensionales del conocimiento científico debe emprenderse desde el marco kuhniano y no se puede más que adoptar lo que podíamos llamar *perspectiva 4D* sin olvidar, tal como hemos intentando mostrar a lo largo del artículo, la contundente aseveración que formulaba Norwood Russell Hanson décadas atrás y que se ha convertido en un icono de la forma contemporánea de entender la ciencia: "Observation is theory laden"⁵⁵.

En realidad, y como conclusión final, no hemos hecho más que constatar que este tipo de *elaboraciones de carácter representacional y epistémico deben abordarse desde su inestable condición y desde las premisas foucaltianas de identidad y repetición.*

7. Tendencias de futuro.

Para concluir este breve artículo vamos a delinear algunas cuestiones que consideramos de interés para abordar las *representaciones epistémicas* en un futuro cercano, que ya se viene haciendo

presente desde la invención de los ordenadores a mediados del s. XX en todos los ámbitos del conocimiento, y se ha constituido en herramienta heurística de indudable importancia e imprescindible para la actividad científica en un amplio abanico de áreas de conocimiento, extendiendo su influencia además de manera muy significativa a otras áreas de la cultura y de la cotidianidad contemporánea en lo que se ha venido delimitando como objeto de investigación en torno al término *simulation/gaming*.

Los primeros simuladores gráficos se desarrollaron en el laboratorio del MIT a mediados de la década de 1960 en el seno del proyecto MAC (Multiple Access Computer and Machine Aid Recognition) como continuación necesaria de las aplicaciones científicas que se le suponían al cálculo automatizado desde Leibniz a Babbage. Aunque los orígenes de la simulación se pueden remontar al experimento de Buffon de 1777 para datar los orígenes de la simulación, culminó con la construcción del ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), con el fin de ser utilizado para aplicaciones militares en el seno del Laboratorio de Investigación Balística del Ejército de los Estados Unidos y que presentado en público el 15 de Febrero de 1946⁵⁶. El proyecto MAC, tal como relatan Francoeur y Segal⁵⁷, tenía como objetivo experimentar con la manipulación de objetos virtuales en una computadora que controlaba una pantalla TRC y para ello se diseñó un sistema informático, el *Klugle*, tal como se le conocía familiarmente⁵⁸, con el fin de experimentar y estudiar gráficamente estructuras macromoleculares de proteínas y ácido nucleico, así como en algunas otras aplicaciones como por ejemplo en el análisis del habla. En el MIT se desarrolló también el primer videojuego, *Spacewar*, diseñado para mostrar las capacidades del antecesor

del Kluge, la consola gráfica DEC 30.

La nueva tecnología de representación, la simulación electrónica, tal como señala Winsberg⁵⁹ 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. No sorprende que sea unos de los principales intereses de Tufte⁶⁰ en su afán de dotar a las herramientas gráficas de efectividad para el desarrollo del conocimiento y la toma de decisiones, y fundamente su definición de lo que sería un gráfico correcto, un *orto-grafein* si atendemos a la etimología del término en griego, en los principios de menor diferencia efectiva entre los datos que se recopilan y en su adecuación para poder establecer comparaciones visuales que permitan determinar tales variaciones. Aspecto muy denostado por sus más feroces críticos⁶¹, pero en el fondo ningún descubrimiento en relación a los problemas clásicos inherentes a la representación que hemos venido señalando, ni tampoco nada revelador a la luz del pensamiento foucaultiano.

Morgan y Morrison, han caracterizado los modelos principalmente por ser “autonomous agents” e “instruments of investigation”⁶², y Winsberg sigue esa senda para abordar las simulaciones pero con la particularidad de que éstas se elaboran con frecuencia precisamente porque los datos de los sistemas que pretenden estudiar son escasos, de modo que se aplican con la pretensión de reemplazar experimentos y observaciones como fuentes de datos en sí mismas acerca del mundo. Y, en lo relativo a la representación gráfica en sí misma,

las técnicas actuales de coloreado utilizando potentes sistemas gráficos y los intentos de emulación de fenómenos visibles o de codificación de fenómenos invisibles en, para por ejemplo la simulación del clima, no distan nada de las dificultades que encontraba Waller para realizar las primeras reproducciones en color en la edición de Febrero de 1865 de *Philosophical Transactions*⁶³, que le llevaron a desarrollar un esquema de colores básicos que permitiera representar de la mejor manera posible y con la mayor fidelidad las ilustraciones en color de la revista. No estamos, pues, tampoco nada alejados de las rutinas de producción de conocimiento de los naturalistas del s. XVI que, cuando no disponían de los datos completos del espécimen lo inventaban, por su puesto idealizado tal como relatábamos a lo largo del texto y, especialmente, cuando se había de colorear. No estamos tampoco nada alejados de las rutinas de producción de conocimiento de los naturalistas del s. XVI que, cuando no disponían de los datos completos del espécimen lo inventaban, por su puesto idealizado tal como relatábamos a lo largo del texto.

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 Alberti⁶⁴ que dio lugar a la formulación de la *perspectiva artificialis* o *pingendi* por parte del matemático Piero della Francesca⁶⁵, 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 representaciona-

les. 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.

Los modelos astronómicos del s. XVI, como las esferas armillares de la época por ejemplo, representaban en su mecanicidad el movimiento aparente de las estrellas alrededor de los planetas o el sol, en una tenue traslación que se había de realizar de forma manual. Las simulaciones virtuales de la actualidad representan modelos dinámicos a gran velocidad, pudiendo realizar exploraciones prospectivas o retrospectivas, tal como pretendió la NASA en la imagen del nacimiento del Universo que distribuyó en 1989, y que simulaba un instante “solo” 380.000 años posterior al Big Bang⁶⁶.

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. XVI⁶⁷. 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 su se debe analizar desde una perspectiva histórica que, como ya señalamos, no puede más que asumir las tesis foucaltianas y, huelga decir, en el seno de las teorías de los paradigmas científicos de Thomas S. Kuhn⁶⁸.

Para terminar nada mejor que reseñar la enorme influencia que tuvo y las muchas reproducciones que se hi-

cieron del famoso *counterfeit* de Durero quien, en 1515, dibujó su famoso rinoceronte, no como fruto de la observación directa sino del borrador que hizo Ferdinand del que llegó a Lisboa en Mayo enviado por el rey Muzafar de Camboya como regalo y se entregó al rey Emanuel de Portugal. Durero nunca dibujó al famoso rinoceronte del natural pues el rey lo embarcó de nuevo para llevarlo así mismo como regalo al Papa Leon X, y el barco se hundió. Durero no tuvo un referente inmediato para su representación del rinoceronte y a partir del bosquejo elaboró una toda una teoría sobre su fisionomía animal en su conocida ilustración.

De un referente se hizo un bosquejo, de un bosquejo una ilustración ideal, de una ilustración ideal múltiples reproducciones. Y que había al final, nada, sólo una sombra del original cargada de autoridad. Nada muy alejado de en lo que puede derivar cualquier imagen generada en los más sofisticados laboratorios de los que disponemos en la actualidad cuyas representaciones epistémicas, aunque sin duda sujetos a la más estricta cadena de validación y consenso entre la comunidad científica, no están exentas de convertirse potencialmente en rinocerontes de Durero para nuestro conocimiento actual⁶⁹.

Notas

¹ M. Polanyi (1967): *The tacit dimension*, London: Cox & Wyman, p. 4.

² Platón (427-347 b.c.). *Diálogos. Obra completa en 9 volúmenes*. Madrid: Gredos (2003); Aristóteles (c.335-325 b.c.): Trad. Cast. Juan David García Bacca (1946); Quintiliano (c. 95 a.c.): *De Institutione Oratoria*. Trad. Cast. Rodriguez y Sandier (1916).

³ Bunge, M. (1962): *Intuition and Science*. Englewood: Prentice Hall.; Leatherdale, W.H. (1974): *The Role of Analogy, Model and Metaphor in Science*. New York: Elsevier.

⁴ Knight, D. (2006): *Public Understanding of Science. A history of communicating scientific ideas*. London, New York: Routledge.; Vickery,

- B. (2000): *Scientific Communication in History*. Boston: Scarecrow Press; Mazzolini, R. (1993): *Non-verbal Communication in Science Prior to 1900*. Firenze: Instituto e Museo di Storia della Scienza; Balex, D. & Carre, C. (1985): *Visual Communication in Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ⁵ Pólya, G. (1945): *How to solve it*. Garden City, NY: Doubleday, pp. 253.
- ⁶ Roe, Anne (1952): "A Psychologist Examines 64 Eminent Scientists". *Scientific American* 187. 5 November, pp. 21-25.
- ⁷ Miller, A. I. (1984). *Imagery in Scientific Thought: Creating Twentieth Century Physics*. Boston: Birkhauser; Separd, R. & Cooper, L. (1982). *Mental Images and their Transformations*. Cambridge, MA: MIT Press.; Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. N. (ed.) *Cognitive Models of Science*. University of Minnesota Press. Minneapolis, MN.
- ⁸ Friedhoff (1989): *Visualization: The Second Computer Revolution*. New York. Harry N. Abrams.
- ⁹ 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: pp. 30-37. So
- ¹⁰ 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.
- ¹¹ Lüthy, C. & Smets, A. (2009): "Words, Lines, Diagrams, Images: Towards a History of Scientific Imagery", *Early Science and Medicine*, 14 pp. 398-439. La ilustración se puede consultar en Harry, R. (1992): *The Scientific Image: from cave to computer*. New York: Abrahams, p. 160.
- ¹² McGuinn, C. (2004): *Mindsight: Image, Dream, Meaning*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- ¹³ 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/mentalimagery/>>.
- ¹⁴ Rudwick, M. (1976): "The emergence of visual language for geological science, 1760-1840". *History of Science*, 14:149-95; Galison, P. (1997): *Image and Logic: a Material Culture of Microphysics*. Chicago: Chicago University Press.
- ¹⁵ Rocke, A. J. (2010): *Image & Reality*. Chicago: Chicago University Press, p. 339.
- ¹⁶ Aristóteles, *Sobre el alma*, Madrid: Gredos, p. 95.
- ¹⁷ Cfr. 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.
- ¹⁸ Bacon, F. (1854), *Novum Organum*. p. 348. In: *The Works*, ed. by Basil Montague, Cfr. Panese, op. cit.
- ¹⁹ Daston, L.; Galison, P. (2007): *Objectivity*. New York: ZoneBooks.
- ²⁰ López Cantos, F. (2010): "La imagen científica: tecnología y artefacto", *Revista Mediterranea de Comunicación*, n. 1, pp. 158-172.
- ²¹ El análisis de su obra se puede consultar, entre otros muchos, en Kemp, M. (1981): *Leonardo da Vinci: The Marvellous Works of Nature and Man*. London: Dent.; o
- ²² 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., p. 266.
- ²³ Lüthy, C. (2006): "Where Logical Necessity Becomes Visual Persuasion: Descarte's Clear and Distinct Illustrations, *Transmitting Knowledge: Words, images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford. Oxford University Press, p. 97.
- ²⁴ 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., p. 26 y ss.
- ²⁵ 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, pp. 1 y ss.
- ²⁶ Pawels, L, pp. 4 y 11 Op. Cit.
- ²⁷ Op. Cit.
- ²⁸ Foucault, M. (1966): *Les Mots et les Choses. Une archéologie des sciences humaines*. Paris: Editions Gallimard. (*The Order of Things: An Archaeology of the Human Sciences*. London: Tavistock Publications Ltd, 1970.).
- ²⁹ Bravo, V. (2000): "Representación y repetición en Michel Foucault", *Cifra Nueva*, n.12 p.9.
- ³⁰ Bunge, M. (1973): *Method, model and matter*. Dordrecht, N.H.: D. Reidel, p. 92.
- ³¹ Kusakawa, S. (2006): "The Use of Pictures

- in the Formation of Learned Knowledge: The Cases of Leonard Fuchs and Andreas Vesalius”, *Transmitting Knowledge: Words, images and Instruments in Early Modern Europe*, Oxford. Oxford University Press, pp. 73-96.
- ³² Ibid. p. 92.
- ³³ Tufte, E. (2006): *Beautiful Evidence*. Cheshire: Graphic Press Ltd. p. 13 y ss.
- ³⁴ Se puede consultar numerosos ejemplos al respecto en Harry, R. (1992) Op. Cit. o Ford, B. J. (1992): *Images of Science: A History of Scientific Illustration*. London: British Library.
- ³⁵ 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, p. 216.
- ³⁶ Galileo Galilei (1632): *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*, trans. by Stillman Drake, University of California Press, 1953 (revised 1967).
- ³⁷ Galileo Galilei (1610): *Siderius Nuncius*, transl. A. Van Helden, Chicago (1962), p. 62. Cfr. Tufte, E. Op. Cit., p. 101.
- ³⁸ Op. Cit. p. 2, note 2.
- ³⁹ Cfr. Rocke, A. J. (2010): Op. Cit. p. 324.
- ⁴⁰ Bunge, M. (1962) Op. cit. p. 77.
- ⁴¹ Frigg, Roman and Hartmann, Stephan, “Models in Science”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2012 Edition)*, Edward N. Zalta (ed.), URL: <<http://plato.stanford.edu/archives/fall2012/entries/models-science/>>.
- ⁴² Keller, E. F. (2000): “Models of and models for: Theory and practice in contemporary biology”, *Philosophy of Science*, 67 (Proceedings): S72-82, Cfr. Griesemer (2004) “Three-Dimensional Models in Philosophical Perspective”, *Models: The Third Dimension of Science*. Stanford: Stanford University Press. p.435.
- ⁴³ Cfr. Kusukawa (2006). Op. Cit. p. 85.
- ⁴⁴ Un trabajo reciente sobre ello se puede encontrar en Kusukawa, S. (2010): *The sources of Gessner’s pictures for the Historia animalium*, *Annals of Science*, Vol. 67, No. 3, July 2010, pp. 303-328.
- ⁴⁵ Kusukawa (2006): Op. Cit. p. 92.
- ⁴⁶ Se puede ver al respecto por ejemplo Chen, Joseph (199): “The Development of Anatomic Art and Sciences: The Ceroplastica Anatomic Models of La Specola”, *Surgery*, October 1999 - Volume 45 - Issue 4 - p 883; 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>>.
- ⁴⁷ Jordanova, L. (2004): “Materials, Models and Visual Culture”, *Models: The Third Dimension of Science*. Stanford: Stanford University Press, p. 443.
- ⁴⁸ Wartofsky, M. W.c (1979): *Models: representation and the scientific understanding*. Dordrecht, London: Reidel.
- ⁴⁹ Shapin, S. & Schaffer, S. (1985): *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*, Princeton; Princeton University Press, 1985, Chapter 2, pp. 22-79. URL = <http://www.stanford.edu/class/history34q/readings/ShapinSchaffer/ShapinSchaffer_Seeing.html>
- ⁵⁰ Kusukawa, S. (2011): “Picturing Knowledge In The Early Royal Society: The Examples Of Richard Waller And Henry Hunt”, *Notes & Records of The Royal Society*. URL = <<http://rsnr.royalsocietypublishing.org/content/early/2011/05/10/rsnr.2010.0094.full.pdf>>
- ⁵¹ Korr-Cetina, K. (1981): *The Manufacture of Knowledge. An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford: Pergamon Press.; Latour, B. & Woolgar, S. (1979): *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts*. London: Sage. Lynch, M. & Woolgar (1990): *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, Mass.; London: MIT Press.
- ⁵² Allamel-Raffin, C. (2011): “The Meaning of a Scientific Image: Case Study in Nanoscience a Semiotic Approach, *Nanoethics* n.5: 165–173.
- ⁵³ Kusukawa, S. (2011): “The role of images in the development of Renaissance natural history” *Archives of natural history* 38.2: p. 202.
- ⁵⁴ Latour, B. (1990) “Drawing things together”, *Representation in Scientific Practice*. Cambridge, Mass.; London: MIT Press. p. 26.
- ⁵⁵ Hanson, N. R. (1967): “An anatomy of discovery”, *Journal of Philosophy*, 64:321-352, Cfr. Lynch, M. Op. Cit.
- ⁵⁶ Goldmans, Nace & Wilson. (2009): “A brief history of simulation”, *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*.
- ⁵⁷ Francoeur, E. & Segal, J. (2004): “From Model Kits to Interactive Computer Graphics”, *Models: The Third Dimension of Science*. Stanford: Stanford University Press p.435.
- ⁵⁸ “A machine, system, or program that has been badly put together, especially a clumsy but temporarily effective solution to a particular fault or problem”. Oxford Dictionary.
- ⁵⁹ Winsberg, E. (2010): *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago, London: Chicago University Press, p. 8.
- ⁶⁰ Tufte, E. (1983): *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire: Graphic

Press.

⁶¹ Vease por ejemplo Manovich, L. (2002): "The Anti-Sublime Ideal in Data Art" URL = <http://www.manovich.net/DOCS/data_art.doc>

⁶² Morison, M. (1999): "Models as mediating instruments", "Models and autonomous agents", *Models as mediators. Perspectives on Natural and Social Science*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 10 y ss., y p. 64.

⁶³ Cfr. Kusakawa (2011): Op. Cit. p. 10.

⁶⁴ Alberti, Leon Battista (1435): *De pictura*. Mexico: UNAM, Trad. Cast. de Rafael Martínez (1996).

⁶⁵ Gamba, E. & Montembelli, V. (1996): "Piero

della Francesca matematico", *American Scientific*, n. 331, pp. 70-77.

⁶⁶ La imagen se puede consultar en Amato, I. (2003): *Supervision. A new view of Nature*. New York: Abrahams.

⁶⁷ 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.

⁶⁸ Kuhn, T. S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: Chicago University Press.

⁶⁹ La reproducción del *Rhinocerus* se puede consultar en Harry, R. (1992): *The Scientific Image: from cave to computer*. New York: Abrahams, p. 69.