

Modelos y representaciones visuales en la ciencia

SUSANA GÓMEZ LÓPEZ

Universidad Complutense de Madrid
Facultad de Filosofía, Departamento de Lógica y Filosofía de la Ciencia
susanaagl@filos.ucm.es

[Gómez López, S., «Modelos y representaciones visuales en la ciencia», *Escritura e imagen*, núm. 1 (2005), pp. 83-116.]

Resumen

Una característica relevante de la ciencia moderna es su empleo de imágenes. El progresivo aumento de éstas, tanto en los procesos de investigación científica como en sus medios de difusión, contrasta con la escasa atención que la filosofía de la ciencia les ha prestado. Las múltiples críticas dirigidas a la «concepción heredada» han dejado prácticamente intacta una valoración de las imágenes científicas que sigue quedando plasmada incluso en la historiografía más alejada del positivismo. En los últimos años, sin embargo, grupos de investigadores de procedencias intelectuales muy diversas han empezado a mostrar un creciente interés por ellas, abriendo nuevas vías de reflexión sobre su elaboración y función. En este artículo se propone una aproximación al problema que no pretende alcanzar conclusiones definitivas ni establecer una tesis interpretativa general aplicable a todo tipo de imágenes científicas. El objetivo es más bien presentar los motivos que han obstaculizado el tratamiento de las imágenes en gran parte de la filosofía de la ciencia del siglo XX, para pasar en un segundo momento a analizar la aplicabilidad y debilidades de ciertas alternativas filosóficas a la comprensión de la representación no verbal en la ciencia. En este sentido, una propuesta interesante es la derivada de ciertas versiones de la concepción semántica, las cuales, insistiendo en la naturaleza no lingüística ni derivada de generalizaciones simbólicas de los modelos, apuntan la posibilidad de considerar las imágenes como modelos representacionales. Aun reconociendo las interesantes claves interpretativas de esta versión de la concepción semántica a la hora de estudiar la representación científica no verbal, se plantea aquí cómo ésta adolece de algunas debilidades derivadas fundamentalmente de dos puntos: en primer lugar el empleo de una no-

ción demasiado vaga y general de *imagen científica*, en segundo lugar una escasa profundización en el valor y uso del concepto de *similitud*. Una diferenciación entre tipos de imágenes, ya sea en virtud de su carácter diagramático o realista, de su función o de la visibilidad o invisibilidad de lo representado, es la condición necesaria para afrontar una reflexión sobre su efectiva elaboración y uso en la práctica científica. A su vez, la constatación y análisis de esta diversidad pone de manifiesto la pluralidad de usos de la noción misma de relación de similitud, replanteando así uno de los problemas más clásicos de todas las teorías de la representación.

Palabras clave: modelos, representación, imágenes, filosofía de la ciencia, similitud.

Abstract

An outstanding feature of modern science is their use of images. Their increasing use, both in scientific research processes and in communication media, contrasts with the short attention that Philosophy of Science has paid to them. The great amount of critics to the received view have left virtually untouched an assessment on the scientific images which continues to be present even in that historiography of science most away from positivistic views. In the latest years, however, some authors from very different research fields have been starting to show an increasing interest in scientific images, opening so new ways of analysis of their production and their function in scientific knowledge. In this article, I suggest an approach to the question that does not try to get closed conclusions or to establish a general interpretative thesis applicable to all types of scientific images. My target is to show some of the elements that have hindered the approach to the images in the philosophy of science in the XXth century, in order to move in a second place to analyze the usefulness and weaknesses of some philosophical alternatives for the comprehension of non verbal representation in science. At this point, an interesting approach proceeds from some versions of the semantic view which, highlighting the non linguistic nature of scientific models, points out the possibility of interpreting images as representational models. Even if I realize the value of some interpretative keys from these semantic views to study the non verbal representation in science, I try to show here how they suffer from certain weaknesses arising from basically two points: a too general and vague notions of *scientific image* and *similarity*. A classification of scientific images by their functions, their diagrammatic or naturalistic form, the visibility or invisibility of the object or phenomenon they represent is a necessary condition to begin a research about their actual making and their use in scientific practice.

Meanwhile, this diversity reveals the plurality of uses of the concept of similarity, so raising once more one of the most classical questions of the theories of scientific representation.

Key words: models, representation, images, philosophy of science, similarity.

Sumario

1. La exclusión de las imágenes en la filosofía de la ciencia – 2. Tipos de imágenes – 3. Imágenes y modelos teóricos – 4. Casos de mapas-modelo en la representación visual – 5. Los modelos visuales de lo invisible.

A lo largo de todo el siglo XX la filosofía de la ciencia ha ido realizando un proceso de incorporación de nuevas y heterogéneas herramientas intelectuales a su campo de estudio. Si a principios de siglo se concentraba en la lógica, en los sistemas axiomáticos y sus relaciones con la experiencia, a partir de los años cincuenta se incorporaron a ella la sociología, la historia, la psicología. Se fueron generando así nuevos enfoques que mostraban y justificaban la relevancia en la empresa científica de elementos como las condiciones sociales y materiales en las que trabajan los científicos, la organización de las instituciones y laboratorios, las redes de comunicación, las técnicas experimentales, los diseños y utilización de instrumentos, o hasta los intereses privados de los científicos o de las comunidades a las que pertenecen. Parece que el camino se presenta abierto a nuevas incorporaciones. Mas entre todas las ya realizadas, desde una perspectiva metacientífica, al mundo de la ciencia, destaca una ausencia: la representación visual, las imágenes, las ilustraciones científicas.

La ciencia, y sobre todo la ciencia moderna a partir del siglo XVI, está repleta de estos elementos no lingüísticos. Desde que entonces se consiguieron buenas técnicas de representación y de reproducción gráfica, la presencia de las imágenes en las obras científicas ha seguido un camino imparable, y lo ha hecho en todas las ciencias, no sólo en las descriptivas. Tanto que hoy en día es casi imposible encontrar un artículo, una obra científica, una presentación de resultados en un congreso, que no vaya acompañada de un aparato pictórico, diagramático, foto gráfico. Mas este persistente incremento del material visual en la ciencia (se dice que vivimos en una cultura de la imagen, y la ciencia no escapa a ella) ha ido corriendo parejo al escaso interés que los filósofos de la ciencia han

mostrado por él¹. Dice M. Ruse, reflexionando sobre el tema, que en su trabajo como biólogo se enfrenta continuamente a esas entidades no verbales que pueblan las exposiciones científicas, y que es un deber de la reflexión metacientífica, independientemente de la conclusión a la que se llegue, preguntarse acerca de qué son, cómo se usan, qué significado tienen en la elaboración y transmisión del conocimiento científico². ¿Se las podría eliminar sin más, de forma que las ideas científicas y su desarrollo permaneciesen intactos? Quizá lleguemos a una respuesta afirmativa, pero entonces ¿por qué se sigue insistiendo tanto en su utilización? Quienes sostienen que la ciencia, en cuanto actividad humana, incluye también elementos puramente estéticos, podrán contestar que se trata de elementos ornamentales que hacen más agradables los productos científicos. Un paso más y encontraremos a quienes sostienen su utilidad didáctica o pedagógica. Y otro paso más, en este caso ya más complicado, tenderá a subrayar su función retórica, el valor de las imágenes como instrumento de convicción y de divulgación de valores, ideas y visiones de la naturaleza³.

En el marco de este estado de cosas, en este ensayo propongo realizar una reflexión y un análisis, en primer lugar, sobre las razones de la ausencia de las representaciones visuales en la filosofía de la ciencia, y en segundo lugar sobre las posibles alternativas históricas y filosóficas para afrontar el estudio de este tipo de elementos científicos.

1. La exclusión de las imágenes en la filosofía de la ciencia

Buena parte de la filosofía de la ciencia del siglo XX ha estado dominada por las concepciones fundamentales del positivismo lógico, según las cuales la caracterización de las teorías científicas consiste en una axiomatización lógica, siendo los axiomas formulaciones de leyes que especifican relaciones entre términos teóricos. A su vez, los términos teóricos son relacionados con términos observacionales por medio de las reglas de correspondencia. De forma que la teoría queda ex-

¹ Importantes reflexiones sobre la cultura visual en la que vivimos y cómo ésta está incidiendo en la ciencia se encuentran en Stafford, B.M., *Good Looking: Essays on the Virtue of Images*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1996, y en la introducción de esta misma autora a su *Artful Science. Enlightenment and the Eclipse of Visual Education*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1994. Muy recientemente P. Galison ha coordinado en Alemania una exposición sobre el tema que queda reflejada en el catálogo *Iconoclasm. Beyond the Image Wars in Science, Religion and Art*, 2002.

² Ruse, M., «Are Pictures Really Necessary? The Case of Sewall Wright's 'Adaptative Landscape'», en Baigrie, B., (ed.), *Picturing Knowledge. Historical and Philosophical Problems concerning the Use of Art in Science*, Toronto, University of Toronto Press, 1996, pp. 303-337: 303-305.

³ Véase Hall, B.S., «The Didactic and the Elegant: Some Thoughts on Scientific and Technological Illustrations in the Middle Ages and Renaissance», en Baigrie 1996, *op. cit.* (nota 2), pp. 3-39.

plicada en términos de su forma lógica más la semántica dada por una serie adicional de definiciones. Es decir, para el positivismo lógico, el conocimiento científico consiste fundamentalmente en la formulación de teorías, y éstas han de ser pensadas como sistemas axiomáticos interpretables. Por tanto, el modo privilegiado de la representación científica es la representación lingüística, y el tipo de razonamiento que legitima las afirmaciones de una determinada teoría como auténtico conocimiento científico ha de tener las características generales de la lógica. De forma que en el marco del empirismo lógico las representaciones visuales, ya sean éstas pictóricas, realistas o diagramáticas, quedan marginadas de la reconstrucción racional de las teorías. Como mucho el positivista lógico podría admitir que este tipo de entidades pueden tener un valor pedagógico, o que pueden ser de alguna ayuda en lo que se llamaría el *contexto de descubrimiento*, pero, como se sabe, esto no es lo que se supone que ha de interesar al filósofo de la ciencia. De modo que una imagen sólo tendría cabida en un análisis filosófico de la ciencia en tanto su contenido fuese reductible a la forma lingüística o lógica.

La constatación de que la ciencia no se puede entender limitándose a la reconstrucción de las teorías en los términos del positivismo lógico ha generado una larga y variada serie de alternativas, pero casi todas ellas han seguido insistiendo en analizar la ciencia como un fenómeno intelectual esencialmente verbal, o más exactamente, como un conjunto de generalizaciones simbólicas que dicen representar el mundo. No quiero decir con esto que los filósofos hayan afirmado que la ciencia está hecha sólo de palabras y expresiones simbólicas, pues reconocen que se trata de una actividad que da cuenta de los hechos del mundo y que utiliza procedimientos de medición y de interacción experimental que no son verbales. Lo que quiero subrayar es que a la hora de estudiar las teorías y los modelos de cambio científico, la filosofía de la ciencia ha concentrado su atención en los procesos y productos de la investigación científica que han sido expresados verbal o matemáticamente. Sólo en contadas ocasiones las imágenes, los diagramas y las representaciones pictóricas han sido consideradas como un elemento relevante del razonamiento científico.

Es cierto que una cierta línea de radicalización de la crítica al positivismo lógico, como la elaborada por los constructivistas Lynch y Woolgar, al negar la constitución lógica y lingüística de la ciencia, han admitido el papel que desempeñan en ella las imágenes, pero unas imágenes a las que han usurpado todo valor de representación del mundo. Es cierto, afirman, que tanto las palabras como las imágenes forman parte de la ciencia, pero ni unas ni otras representan con éxito el mundo, sino que son, para decirlo en pocas palabras, construcciones de un universo social⁴.

⁴ Sobre esta línea de reflexión acerca de la exclusión de las imágenes en la filosofía de la ciencia, véase Giere, R.N., «Visual Models and Scientific Judgement», en Baigrie 1996, *op. cit.* (nota 2),

En este estado de cosas, la cuestión que se plantea es: ¿quedan alternativas de reflexión metacientífica que superen la exclusión de las imágenes propia de la concepción lingüística y logicista de la ciencia sin caer necesariamente por ello en un sociologismo extremo que las aparta de la racionalidad y les niega todo valor representacional? O en otras palabras ¿se puede hablar de un razonamiento científico que incluya elementos y procesos no expresados verbal o lógicamente? Claramente buscar una respuesta a estas preguntas requiere aclarar qué entendemos por *razonamiento*, pues tradicionalmente se ha utilizado como sinónimo de *argumentación*, y toda argumentación está compuesta por un conjunto de proposiciones relacionadas entre sí deductiva o inductivamente. A menos, por tanto, que aceptemos una noción más amplia de razonamiento que no sea reductible a algoritmos lógicos, no podremos hablar de un valor racional de las imágenes científicas⁵.

Esto fue precisamente lo que hizo Kuhn en sus *Second Thoughts on Paradigms* en 1974 al intentar precisar el significado de su noción de *ejemplar*⁶. En este texto Kuhn planteaba el problema de cómo se vinculan los términos –tanto teóricos como básicos– con la naturaleza, y consideraba que la noción usual de *reglas de correspondencia* empleada por el empirismo lógico era, si no inadecuada, al menos insuficiente, pues ocultaba los procesos por los que el científico aprende cosas acerca de la naturaleza que no están incorporadas en las generalizaciones verbales. Según Kuhn, una buena parte de las funciones que se atribuían a las reglas de correspondencia consistía en una capacidad adquirida de ver semejanzas entre problemas o hechos, siendo las semejanzas autorizadas en el seno de una comunidad las generadoras de ejemplares. La inclusión de un nuevo hecho en un ejemplar estaba basada en una percepción de similitud que era lógica y psicológicamente previa a cualquier criterio conforme al cual se habría establecido esa identificación de similitud. Es decir, no se establecen criterios que sirven para es-

pp. 269-302. La interpretación del valor de las imágenes en la ciencia defendida por la sociología radical de la ciencia tiene un buen ejemplo en Lynch, M., y Woolgar, S. (eds.), *Representation in Scientific Practice*, Cambridge, Mass., The MIT Press, 1990. Sobre otras interpretaciones alternativas véanse los artículos recogidos en el número monográfico de *Human Studies. Representation in Scientific Practice*, vol. 11 (abril-julio de 1988).

⁵ Cfr. Nersessian, N.J., «Model-Based Reasoning in Conceptual Change», en Magnani, L., Nersessian, N.J., y Thagard, P. (eds.), *Model-Based Reasoning in Scientific Discovery*, Nueva York, Kluwer, 1999, pp. 5-22. Es obligado hacer referencia al texto que encendió la polémica sobre la posibilidad de un razonamiento no verbal: Arnheim, R., *Visual Thinking*, Londres, Faber and Faber, 1969; una síntesis de las tesis de Arnheim se encuentra en su «A Plea for Visual Thinking», *Critical Inquiry*, 6 (1980), pp. 489-497.

⁶ Publicado en Suppe, F. (ed.), *The Structure of Scientific Theories*, Urbana, University of Illinois Press, 1974, pp. 459-482 (trad. esp. en Kuhn, T., *La tensión esencial*, México, Fondo de Cultura Económica, 1982, pp. 317-343).

tablecer la similitud, sino que la similitud se capta y luego, en todo caso, se puede uno preguntar acerca de los criterios que se han aplicado. La conclusión era que este aprendizaje no verbal era un momento del proceso racional propio de la actividad científica y constituía la pieza clave en la elaboración de taxonomías. Aunque Kuhn no insistía explícitamente en ello, salvo una breve alusión a los herbarios como colecciones de ejemplares, con su reflexión abría una puerta a la posibilidad de incluir las representaciones no verbales en la ciencia. Unas imágenes que tendrían al menos una función relevante en la parte taxonómica de la ciencia y que reflejarían la propuesta y el establecimiento de similitudes.

Por otra parte, en los últimos años la filosofía de la ciencia ha elaborado ciertos enfoques que indican nuevas posibilidades para estudiar el significado, uso y función de las imágenes. Me refiero a algunas propuestas estrechamente ligadas a la concepción semántica –como las de R. Giere o N.J. Nersessian– y que por medio de una reinterpretación del concepto de *modelo* y de su papel en el razonamiento científico apuntan una serie de claves de enorme interés. Su insistencia en interpretar los modelos científicos ya no sólo como entidades no lingüísticas, sino que ni siquiera tienen por qué tener un correspondiente lingüístico ni ser axiomatizables, ha desembocado en la propuesta de atribuir a las imágenes la función de modelos que representan, gracias a la relación de *similitud*, los objetos o sistemas físicos del mundo real⁷. Es cierto, sin embargo, que el enfoque de estos autores, que es, a mi entender (junto con ciertas ideas de L. Daston y P. Galison a las que aludiré más adelante) el más fructífero y adecuado para entender qué son y cómo funcionan las representaciones visuales en la ciencia, adolece de una serie de debilidades derivadas fundamentalmente del empleo de una noción demasiado vaga del concepto de *imagen científica*.

Mi propósito aquí es plantear la posibilidad de hacer una interpretación del valor de las imágenes aplicando la noción de *modelo representacional*, para pasar después a hacer una serie de reflexiones y matizaciones derivadas del intento de aplicar esta interpretación a algunos casos concretos. Antes de ello, sin embargo, considero necesario plantear algunas cuestiones que normalmente se pasan por alto y cuya ausencia es la principal generadora de malentendidos: ¿qué

⁷ R. Giere hace explícita esta posibilidad de tratar las imágenes científicas desde su concepción representacional de los modelos en Giere 1996, *op. cit.* (nota 4), pp. 269-302, y en el cap. 6 de su *Science Without Laws*, Chicago, The University of Chicago Press, 1999. Un tratamiento más general de las posibilidades explicativas de su concepción representacional se encontraba ya en su *Explaining Science. A Cognitive Approach*, Chicago, The University of Chicago Press, 1988, y recientemente las ha desarrollado en «Using Models to Represent Reality», en Magnani *et al.* (eds.) 1999, *op. cit.* (nota 5), y en «Models as Parts of Distributed Cognitive Systems», en Magnani, L., y Nersessian, N.J. (eds.), *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*, Dordrecht, Kluwer, 2002. Algunos de los artículos recogidos en los dos últimos volúmenes citados comparten muchas de las tesis de Giere y hacen interesantes sugerencias sobre el problema de la representación visual en la ciencia.

son esas entidades llamadas imágenes científicas que estamos proponiendo entender? ¿qué hace que una representación visual sea una representación científica? y, sobre todo, ¿cuáles son los criterios que diferencian unas imágenes de otras? Hablar de imágenes en general equivale a cerrar las puertas a toda posibilidad de entender cómo se generan y qué función cognoscitiva desempeñan. Es obvio que un diagrama geométrico tiene muy poco que ver con la fotografía de una galaxia, que una ilustración de los vórtices cartesianos, aparte de ser material gráfico, comparte pocas cosas con el dibujo de una planta, etc. Probemos, por tanto, a hacer un análisis de los criterios de distinción entre los tipos de imágenes.

2. Tipos de imágenes

La clasificación más generalizada de las imágenes consiste en distinguir los diagramas de las representaciones pictóricas o naturalistas y se basa en un criterio esencialmente empirista asociado a la dicotomía abstracto / no abstracto. Se dice que la imagen naturalista se aproxima a un espejo de la realidad tal como la percibimos, a una representación neutral de la que el culmen sería la fotografía. Mientras que el diagrama sería una imagen con un alto grado de abstracción y que expresa una selección e interpretación teórica de rasgos del sistema del mundo real. Sin embargo, a pesar de ser la distinción más usual, esta clasificación adolece de numerosas dificultades. En primer lugar, hablar de diagramas en general es demasiado vago, pues si bien hay diagramas que efectivamente son una esquematización o abstracción de fenómenos empíricos, visualizables (figura 1), hay otro tipo de diagramas, por ejemplo los árboles o mapas de las clasificaciones natura-

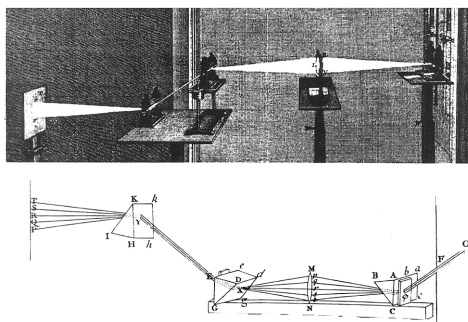


Figura 1. Experimento newtoniano de descomposición de la luz blanca. La ilustración superior muestra el dispositivo experimental tal como cualquiera lo podría presenciar, mientras que la inferior es el diagrama correspondiente aparecido en su *Óptica* (1704), L. I, 2, proposición 11.

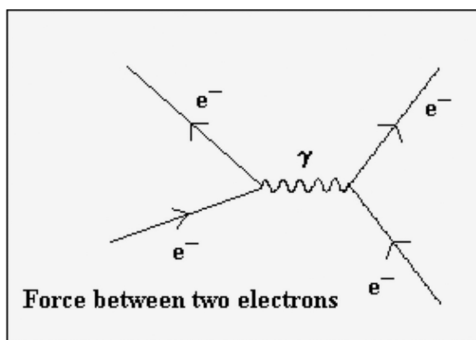


Figura 2. Diagrama de Feynman (1949).

les, o los famosos diagramas de Feynman, que no representan ningún objeto ni visto ni visualizable, sino que son más bien expresiones gráficas de ideas o modelos teóricos (figura 2). Un diagrama, por tanto, no puede ser definido meramente como la forma antitética de una representación naturalista o pictórica de la realidad. En segundo lugar, el hecho de que una ilustración esté realizada con estrategias pictóricas realistas no implica necesariamente que se refiera a un objeto o fenómeno real⁸ (figura 3). Por último, pero sobre esto volveré más adelante, no está nada claro que la representación naturalista no tenga cualitativamente las mismas características de abstracción, selección e interpretación que tiene el dia-



Figura 3. Domenico Zampieri, *La doncella y el unicornio*, 1602. Roma, Palazzo Farnese.

⁸ Cfr. Kemp, M., «Taking It On Trust: Form and Meaning in Naturalistic Representation», *Archives of Natural History*, 17/2 (1990), pp. 127-188 (también en *idem*, *Immagine e verità. Per una storia dei rapporti fra arte e scienza*, Milán, Il Saggiatore, 1999, pp. 153-197).

grama. Lo cual llevaría a abandonar esta distinción para considerar que diagramas y representaciones naturalistas no se oponen, sino que son los polos extremos de un espectro⁹.

Otra posible clasificación de los tipos de imágenes consiste en diferenciarlas partiendo de la pregunta acerca de la función que les atribuye su autor o el objetivo que persigue quien las presenta. Se podría así hablar de:

a) *Función ornamental*, según la cual las imágenes serían añadidos al texto que, como mucho, transmitirían valores estéticos, emotivos, retóricos, etc., pero que son independientes de lo referido en el texto, en el sentido de que éste podría prescindir completamente de ellas sin verse modificado¹⁰.

b) *Función pedagógica*, muy extendida en determinados periodos de la historia de la ciencia, como el siglo XVIII, cuando proliferaron manuales de filosofía e historia natural de carácter divulgativo para un público no especializado, por no hablar de la cultura científica contemporánea¹¹.

c) *Función descriptiva*, según la cual la imagen, más o menos esquemática, representaría miméticamente los objetos y fenómenos del mundo *tal y como se encuentran en la naturaleza*; sería una especie de transcripción en dos dimensiones de los resultados de la experiencia directa, y serviría como sustituto de ésta. Cumplirían esta función los herbarios, atlas de anatomía y zoología, y en general todos los mapas.

d) *Función explicativa*, en la que las imágenes intentan hacer comprensibles visualmente los razonamientos que subyacen a la explicación de un fenómeno. Piénsese por ejemplo en los diagramas geométricos de la física, en representaciones a medio camino entre la geometría y la descripción (por ejemplo las de la transmisión de la presión en los fluidos en los *Principia* de Newton, los diagramas de la astronomía ptolemaica). O aquellas imágenes que recurren a analogías y metáforas de lo visible para explicar lo invisible (los vórtices cartesianos, etc.).

⁹ Cfr. Knight, D., «Scientific Theory and Visual Language», en Ellenius, A. (ed.), *The Natural Sciences and the Arts: Aspects of Interaction from the Renaissance to the Twentieth Century*, Estocolmo, Almqvist and Wiksell International, 1985, y Hall 1996, *op. cit.* (nota 3). Uno de los protagonistas de la crítica a la distinción cualitativa entre representaciones diagramáticas y naturalistas es el teórico del arte E. Gombrich, que utiliza su noción de *esquema* o *estereotipo* para defender una interpretación de la naturaleza conceptual de las imágenes y mostrar cómo toda representación aparentemente naturalista es el perfeccionamiento de un esquema o representación diagramática inicial. Véase Gombrich, E.H., *Arte e Ilusión. Estudio sobre la psicología de la representación científica*, Madrid, Debate, 1992 (ed. original 1968).

¹⁰ Una crítica a la reducción estética y ornamental del valor de las imágenes en los libros de historia de la ciencia se encuentra en Stafford 1996, *op. cit.* (nota 1).

¹¹ Véase Stafford 1996, *op. cit.* (nota 1) y también Stafford 1994, *op. cit.* (nota 1). Sugerentes comentarios se encuentran también en Hall 1996, *op. cit.* (nota 3).

e) *Información gráfica de datos*: se trata en este caso de imágenes muy cargadas de símbolos y convenciones que pretenden dar información de datos obtenidos empíricamente. Es lo que normalmente identificamos como gráficos de medición, y su función informativa depende de una serie de convenciones y presupone la capacidad de lectura y decodificación de éstas por parte del observador de la imagen.

Claramente una imagen puede cumplir más de una función. Así por ejemplo, una imagen descriptiva puede tener un alto valor pedagógico al ser incluida en un libro de texto, un atlas, etc. Lo que sin embargo considero interesante subrayar en una clasificación como ésta, realizada en virtud de las funciones e intenciones de las imágenes, es que estas funciones e intenciones han de ser investigadas y elucidadas en su contexto. Sacarlas de él, independizarlas, es lo que ha llevado a su devaluación a la categoría de elementos puramente ornamentales e independientes de la elaboración, desarrollo y explicación de las ideas científicas.

Una tercera vía de distinción entre los tipos de imágenes que emplea la ciencia y que considero especialmente interesante, aunque en absoluto carente de problemas, es la que podemos establecer entre representaciones visuales de lo visible y representaciones visuales de lo invisible. En este caso, a diferencia de las alternativas de clasificación anteriores, la distinción entre tipos de imágenes no sólo se establece en función del sujeto que representa, de sus estrategias representacionales, de los niveles de abstracción o de las intenciones, sino que se establece en función del objeto o sistema real que se pretende representar, o mejor dicho, en función de la interrelación cognoscitiva entre el objeto representado y el sujeto. Hay una invisibilidad que depende de nuestro sistema perceptual, como cuando decimos que las células de nuestra piel nos resultan invisibles, pero que puede ser convertida en imagen visible con determinado instrumental de potenciación de nuestras capacidades perceptivas. Hay otra invisibilidad, en cambio, que depende de las propiedades de las cosas: un campo electromagnético no es visible, por mucho que lo sean sus efectos o que lo podamos traducir a una expresión visual¹².

Como primera aproximación, podemos probar a usar una noción intuitiva de visibilidad: un cuerpo humano es visible y el anatomista lo puede dibujar guiándose por su experiencia visual; lo mismo se puede decir de las plantas, los animales o los minerales que aparecen representados en las obras de las ciencias descriptivas. También muchos experimentos se refieren a fenómenos visibles, es más, en muchos de ellos son precisamente los resultados visuales los que dan las

¹² Sobre esta diferencia, véase Gombrich, E.H., «Standards of Truth: The Arrested Image and the Moving Eye», en Mitchell, W.J.T. (ed.), *The Language of Images*, Chicago, The University of Chicago Press, 1980, pp. 181-217: 200.

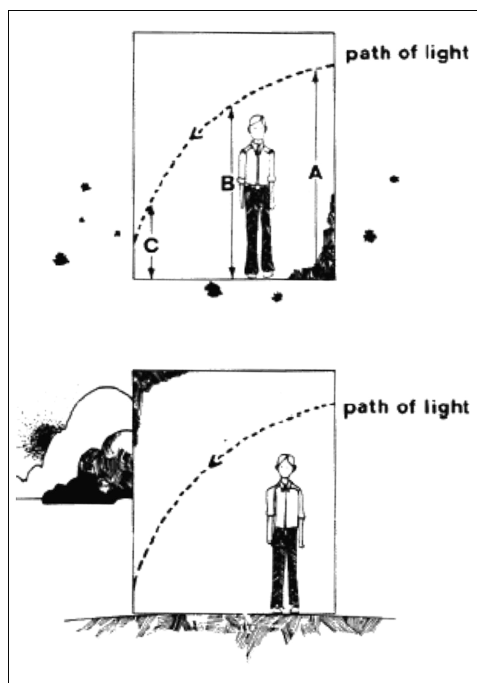


Figura 4. Experimento mental del ascensor, de Einstein.

pautas de su interpretación. Podemos, por ejemplo, observar el experimento del tubo torricelliano y dibujarlo como lo hemos visto. El problema se complica cuando se trata de experimentos mentales, pues son tales precisamente porque no son visibles. Ahora bien, hay experimentos mentales o imaginarios que si bien no son visibles funcionan como una aproximación ideal a lo visible y pretenden sintetizar fenómenos visibles, mientras que hay otros que por su propia naturaleza no parten de, ni se refieren a lo visible. Piénsese en el caso del ascensor de Einstein (figura 4), dentro del cual hay un sujeto que no puede decir si se encuentra en un campo gravitacional o acelerado; un rayo de luz que atravesase el ascensor se doblaría hacia abajo si el ascensor estuviese acelerado, pero por el principio de equivalencia haría lo mismo si se tratase de un campo gravitacional; sólo que las condiciones requeridas para que eso se produjese serían tan extremas que ningún observador real las resistiría¹³. En casos como éstos la representación pictórica del experimento funcionaría como una simulación ideal que facilitaría tanto la comprensión como la operatividad con los elementos e hipótesis propuestas.

¹³ Cfr. Brown, J.R., «Illustration and Inference», en Baigrie 1996, *op. cit.* (nota 2), pp. 250-268.

Otro caso conflictivo cuando se trata de distinguir las representaciones visuales en virtud de la visibilidad del objeto o fenómeno del mundo real son los mapas. Casi siempre éstos se ponen como ejemplo de representación, más o menos diagramática, de objetos o redes de objetos visibles. Es cierto que el mapa de una ciudad es una representación de lo visible porque la ciudad es visible, y que podemos saber si el mapa *corresponde* verídicamente a la ciudad siguiendo las trayectorias del mapa y adentrándose por las calles. Pero conviene precisar que cuando hablamos de su visibilidad no siempre lo estamos haciendo del mismo modo: vemos ciertas partes de Nueva York o ciertas perspectivas de Nueva York, y si a un conjunto de personas que afirmasen haber visto la ciudad les pidiésemos que la dibujasen es muy improbable que sus elecciones coincidiesen. Este caso nos puede parecer banal para lo que aquí nos interesa, pero no lo es tanto si lo trasladamos al ejemplo del sistema muscular de un mamífero: hay muchos mapas anatómicos que representan visualmente toda su estructura, pero a ningún anatomista se le ocurriría pretender ver todos los músculos a la vez. Aceptemos, en cualquier caso, que se trata de objetos visibles en el sentido de que sus partes pueden ser percibidas, aunque haya necesariamente un proceso de selección, reconstrucción e interpretación de ellas. Nótese que serían precisamente estas reconstrucciones autorizadas de datos o elementos del mundo las que constituirían los ejemplares kuhnianos en el caso de las ciencias descriptivas.

Otro tipo de dificultad presente en una clasificación de imágenes según la visibilidad / invisibilidad del objeto se plantea si tenemos en cuenta el contexto científico y las capacidades de observación. La mesa que tengo ante mí la puedo ver y dibujar, mientras que la relación de fuerzas que mantiene su estructura la puedo representar diagramáticamente, pero no la puedo ver. ¿Qué sucede si me pregunto acerca de la visibilidad de los ácaros del polvo que hay sobre la mesa? No los veo a simple vista, pero los puedo ver con un microscopio. Es decir, la relación entre representación visual y visibilidad del objeto puede variar. Recordemos cómo por ejemplo para algunos científicos del siglo XVII las partículas mínimas de la materia eran entidades invisibles, y las representaciones que hacían de ellas eran hipotéticas, pero algunos estaban convencidos de que las mejoras del instrumental microscópico permitirían verlas. Es decir, en algunos casos se trataría de una invisibilidad técnica, mientras que en otros simplemente nos referimos a cosas que son por principio no visibles. Lo cual, a su vez, no deja de plantear serios problemas, como bien ha señalado P. Galison en su estudio sobre la microfísica del siglo XX y la polémica sobre la visibilidad de las micropartículas, que significativamente se cierra con el caso de las imágenes científicas generadas con computadores. Si salimos del ámbito de la microfísica encontraremos multitud de ejemplos de este proceso. Continuamente se nos ofrecen representaciones visua-

les de sistemas físicos que en realidad nunca han sido vistos, ni a simple vista ni con instrumental óptico, sino que son la reconstrucción visible de un fenómeno a partir de datos de naturaleza no visible (las imágenes resultantes de las resonancias magnéticas, las obtenidas en astrofísica con los radiotelescopios, etc.)¹⁴. Quizá estos tipos de imágenes sean la mejor confirmación de algo que ya dijo Gombrich: que las imágenes científicas no pretenden representar lo que se ve, sino hacer visibles las cosas.

3. Imágenes y modelos teóricos

La concepción sintáctica de las teorías afirma que éstas son conjuntos de enunciados que gracias a una semántica propia tienen valor de verdad o falsedad. Una imagen, en cambio, no puede ser verdadera ni falsa. Como decía Gombrich, «una imagen nunca es ni verdadera ni falsa, así como un enunciado no es ni verde ni azul». De una imagen se puede decir que *se parece*, o que corresponde más o menos a algún objeto. Esta irreductibilidad de las imágenes a su verdad o falsedad es una de las principales razones que han hecho inviable el estudio de su valor científico en el marco de una concepción sintáctica y lingüística. Las diferentes versiones de la concepción semántica, en cambio, abren una puerta al tratamiento filosófico de las imágenes científicas al caracterizar a las teorías en función de sus modelos, y a éstos como entidades no lingüísticas y que por tanto en sí mismas no son verdaderas ni falsas.

Es necesario, ante todo, hacer algunas consideraciones acerca de la noción de *modelo* que evite los frecuentes malentendidos que a veces se producen. Una cosa son los modelos teóricos, como por ejemplo los modelos mecánicos usados por los físicos del siglo XIX, y otra cosa son los modelos entendidos como sistemas físicos del mundo real que satisfacen las afirmaciones de una teoría. La primera interpretación sería la más afín a la noción representacional de los modelos propia de la concepción semántica (especialmente defendida por autores como R. Giere), según la cual los modelos son entidades no lingüísticas

¹⁴ En este sentido es interesante la reflexión de M. Kemp en su *Visualizations: The Nature Book of Art and Science*, Berkeley, University of California Press, 1991, p. 128, a propósito de las imágenes obtenidas en una mamografía: «*Modern diagnostic medicine involves countless life-and-death decisions taken on the basis of images formed without normal acts of seeing –using non-visible emissions, artificial perceptual systems, and computerized cognition. Layered on top of artificial procedures are our own complex natural processes for seeing and knowing. Clinicians and technicians who use machine-generated images understand the physical means of image formation and gain an intuitive sense of how to see what they seek, but they are unlikely to be aware of the mathematics behind image processing*».

constituidas por sistemas idealizados que representan los sistemas del mundo real¹⁵.

Según una versión de la concepción semántica (protagonizada por P. Suppes), las teorías están formadas por predicados (como por ejemplo *péndulo*), que a su vez están definidos por enunciados o ecuaciones, más enunciados de la forma *x es P*, donde *x* se refiere a un sistema del mundo real que satisface el predicado *P*. Los predicados, en cuanto tales, no son verdaderos ni falsos. Lo que aporta el valor de verdad es el enunciado o hipótesis teórica *x es P*, que pone en relación de correspondencia al predicado con el sistema del mundo real (y que cumpliría funciones semejantes a las reglas de correspondencia de la concepción sintáctica). Mas una interpretación tal, en el fondo, sigue aferrada a la idea de que los elementos lingüísticos (o las expresiones matemáticas) son imprescindibles en las teorías científicas¹⁶. Ya aquí podríamos, sin embargo, extender esta idea al caso de las imágenes, sustituyendo los predicados, que en sí mismos no son ni verdaderos ni falsos, por las imágenes, que tampoco lo son. Cuando decimos que una imagen es verdadera o falsa, en realidad no hablamos de la imagen, sino del enunciado que la acompaña y que dice que *tal imagen es tal cosa*, lo cual equivaldría a las mencionadas hipótesis teóricas de la forma *x es P*¹⁷. Pero entonces se seguiría tratando de una interpretación que privilegia los aspectos lingüísticos, pues lo que establece el vínculo representacional es un enunciado del que se puede decir que es verdadero o falso¹⁸ (gráfico 1).

Como posible vía para superar este obstáculo, Giere propone su concepción representacional de los modelos, según la cual éstos no son interpretaciones

¹⁵ Giere 1988, *op. cit.* (nota 7); Giere 1996, *op. cit.* (nota 4); Giere 1999, *Science Without...*, *op. cit.* (nota 7); Giere 1999, «Using Models...», *op. cit.* (nota 7), y Van Fraassen, B., *The Scientific Image*, Oxford, Oxford University Press, 1980. Sobre la noción de modelo y sus desarrollos más recientes véanse Magnani y Nersessian (eds.) 2002, *op. cit.* (nota 7); Magnani *et al.* (eds.) 1999, *op. cit.* (nota 5), y Morgan, M., y Morrison, M. (eds.), *Models as Mediators*, Cambridge, Cambridge University Press, 1999.

¹⁶ Cfr. Suppes, P., «A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences», en Freudenthal, H. (ed.), *The Concept and the Role of the Model in Mathematics and Natural and Social Sciences*, Dordrecht, Reidel, 1961, pp. 163-177.

¹⁷ Merece la pena citar las palabras de Gombrich y subrayar lo mucho que se acercan a la negación de verdad o falsedad a los modelos y su atribución en cambio a las hipótesis teóricas: «Los lógicos nos dicen (y no son gente fácil de desmentir) que los términos 'verdadero' y 'falso' no se pueden aplicar más que a enunciados, proposiciones. E invente lo que invente la jerga de los críticos, una pintura no es nunca un enunciado en este sentido del término. No puede ser verdadero o falso, así como una proposición no puede ser azul o verde. Mucha confusión se ha producido en la estética por el olvido de este simple hecho. Es una confusión comprensible porque en nuestra cultura los cuadros suelen llevar un título, y los títulos, o las etiquetas, pueden entenderse como enunciados abreviados [...]. Incluso en ilustraciones científicas, es la leyenda lo que determina la verdad de la imagen.» (la cursiva es mía), Gombrich 1992, *op. cit.* (nota 9), p. 59.

¹⁸ Esta es la crítica que hace Giere a la mencionada interpretación. Cfr. Giere 1996, *op. cit.* (nota 4).

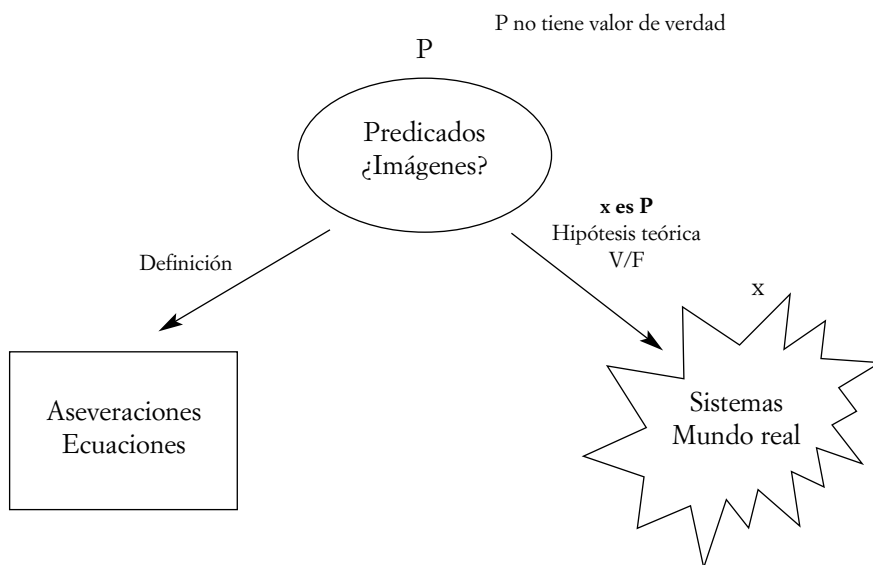


Gráfico 1.

de sistemas formales (no son los sistemas del mundo real que satisfacen un sistema formal), sino instrumentos de representación del mundo. A lo cual añade que la relación de representación fundamental no es la de verdad de un enunciado relativo a los hechos o la aplicabilidad de un predicado o conjunto de generalizaciones simbólicas a un objeto o conjunto de objetos, sino la *similitud* de un prototipo respecto a casos reales (o a submodelos). Es decir, no es la relación entre una entidad lingüística y otra no lingüística, sino entre entidades no lingüísticas¹⁹ (gráfico 2).

Desde este punto de vista, podemos considerar las imágenes como modelos que engloban o subsumen las múltiples posibilidades del mundo real según su relación de similitud, pues en este caso se trataría también de la relación de representación entre entidades no lingüísticas. Ahora bien, el problema radica en la compleja y discutible noción de *relación de similitud* que vincula al modelo –en este caso la imagen– con los objetos o sistemas del mundo real. La respuesta de Giere es que esta relación de representación es la misma que se establece entre un prototipo y aquellas cosas que se consideran suficientemente similares a él como para quedar englobadas o clasificadas en él. Lo cual, a su vez, deriva en el problema de cómo se hacen esos juicios de similitud o pertenencia a un prototipo. Pues después de todo cualquier par de objetos son similares entre sí en una infinitud

¹⁹ Véase en especial Giere 1999, «Using Models...», *op. cit.* (nota 7).

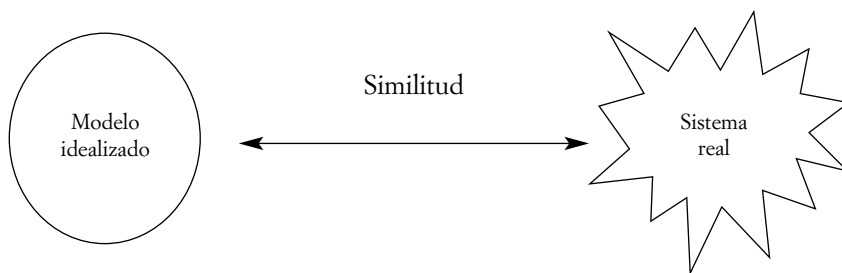


Gráfico 2. La relación es la misma que la que existe entre un prototipo y las cosas que se le parecen.

de aspectos. Es decir, ¿cuáles son las características que cuentan para establecer la similitud respecto al prototipo y por qué algunas características se consideran más fundamentales que otras? En cierto sentido podemos decir, afirma Giere, que es el prototipo el que establece las pautas de los juicios de similitud por medio de un proceso de selección y abstracción de rasgos²⁰.

Para explicar esta idea, Giere recurre a su interpretación de la elaboración y características de los mapas, que según él son un tipo de modelos y no son ejemplificaciones ni traducciones de ninguna forma lingüística, sino representaciones visuales que dicen reflejar un sistema real. Todos sabemos que los mapas, a menos que se realizasen como el del famoso relato de Suárez de Miranda recordado por Borges –y entonces ya no serían mapas sino la realidad misma– son una representación parcial del mundo, una selección de cualidades, medidas, criterios, que son los que establecen en qué sentido lo representado es similar al mapa. No se puede decir, por tanto, que son *isomorfos*; como mucho se podría decir que son *aproximadamente isomorfos*, lo cual equivale a decir que *se parecen* o *son similares*²¹.

Lo que aquí me interesa subrayar es cómo toda imagen científica que dice representar algo funciona como los *mapas-modelo* descritos por Giere, pues en ellas hay una selección de rasgos, una abstracción de propiedades que hace posible: a) que se subsuman en ella, por similitud, determinados objetos del mundo real, o en otras palabras, las imágenes tendrían un valor clasificatorio, lo cual estaría muy cerca de las ya comentadas ideas de Kuhn acerca de la formación y función de ejemplares y taxonomías científicas, y b) que contengan información que supera la información contenida en el objeto mismo. Incluso las representaciones pictóricas más naturalistas y realistas, las que dicen estar copiadas del natural y se

²⁰ *Ibidem*.

²¹ *Ibidem*.

presentan como transcripciones *objetivas* pueden en realidad ser consideradas mapas diagramáticos que indican cuáles son las características relevantes que hacen que una imagen represente algo. Y es esa selección de características la que transmite una información teórica que no está en el objeto mismo. Leonardo da Vinci, uno de los mayores defensores de la copia del natural, pero también del valor científico de la imagen (dibujar es una forma de conocer el mundo, decía) expresaba muy bien esta idea cuando afirmaba que se engañaban quienes creían que se aprendía más presenciando directamente una disección del cuerpo humano que observando una ilustración anatómica, pues esta última, decía, es el resultado y la síntesis de muchas observaciones, y en ella se apuntan los elementos realmente importantes que pasarían desapercibidos presenciando una sola disección. A esto se podría objetar que esta selección de características o rasgos relevantes que indican que la imagen representa un determinado fenómeno desaparecen cuando ésta está obtenida por métodos fotográficos o de reproducción mecánica. Un ejemplo bastará para entender que no es así. Si observamos la fotografía de un rayo, para saber si lo que aparece en la imagen es una única descarga eléctrica o una sucesión de ellas, tendremos que poseer una información previa sobre, por ejemplo, el tiempo de exposición de la película, el cual puede ser seleccionado por el autor de la fotografía dependiendo del tipo de información que quiera transmitir²².

La cuestión, como dicen L. Daston y P. Galison en su *The Image of Objectivity*, tiene mucho que ver con el problema de los universales, de si la ciencia ha de referirse a hechos y fenómenos universales o generalizaciones, o bien a accidentes y circunstancias particulares y no generalizables. Y de hasta qué punto las imágenes, y en especial las descriptivas, representan lo universal o lo accidental o concreto²³.

El tratamiento de las imágenes como modelos idealizados pone en duda el atributo de objetividad y evidencia que, de una forma retórica, se les ha atribuido en la ciencia moderna. Se sigue leyendo en los estudios de historia de la ciencia que uno de los elementos que contribuyeron decisivamente al desarrollo de las ciencias descriptivas o baconianas a partir del siglo XVI fue la proliferación de imágenes gráficas y las nuevas posibilidades técnicas y pictóricas para representar fielmente la realidad, mostrando así los resultados de la experiencia. Claramente, se trata de un mito positivista que utiliza conceptos superficiales de experiencia y representación y que se ha quedado sin revisión debido al escaso o nulo interés filosófico por el problema de las imágenes en la ciencia, y que como tal mito sigue apareciendo en estudios históricos de autores marcadamente anti-

²² Este ejemplo muy ilustrador está expuesto en Gombrich 1980, *op. cit.* (nota 12), pp. 181-182.

²³ Véase también sobre este punto Hall 1996, *op. cit.* (nota 3).

positivistas. Un mito que desarrolla todo su potencial retórico en la ciencia contemporánea, cargada de imágenes científicas que parecen decirnos «si se ha fotografiado tal cosa, ésta existe o es verdadera», y del cual el propio positivismo fue víctima al identificar la objetividad libre de presupuestos teóricos con la observación fotográfica²⁴.

La interpretación de la elaboración y uso en la ciencia de los modelos idealizados y representacionales, que se presenta como una crítica a la noción de correspondencia característica del positivismo lógico, puede contribuir en gran medida a superar también esta concepción positivista no revisada respecto al valor y uso de las imágenes en el desarrollo científico. En especial, la noción de *mapas-modelo* aplicada al caso de las representaciones científicas visuales parece ser bastante correcta siempre que se refiera a representaciones de objetos o fenómenos visibles, aunque un análisis de diferentes tipos de imágenes relativas a lo visible hace necesario introducir una serie de matizaciones y objeciones que expondré a continuación.

4. Casos de mapas-modelo en la representación visual

1. *El mapa lunar de Galileo*

Analicemos, desde esta perspectiva, uno de los casos más citados por los filósofos de la ciencia a propósito del problema de la interpretación de la observación, el del mapa lunar realizado por Galileo entre 1609 y 1610. Se dice que el mérito de Galileo no fue el de inventar el telescopio, y ni siquiera el de usarlo para observar los cuerpos celestes, cosa que ya habían hecho otros poco tiempo antes, como Thomas Harriot, sino el de dar una determinada interpretación a lo que se veía a través de aquel antejo. En contra de lo que se pensaba en la cosmología aristotélica –se dice casi siempre en las historias de la ciencia– según la cual los cuerpos celestes, incluida la Luna, son cuerpos esféricos y perfectos, la innovación de Galileo consistió en ver las manchas de la Luna como valles, montañas y cráteres. Y se suele insinuar que Galileo fue capaz de *ver esto* gracias a sus sospechas copernicanas, es decir, gracias a que estableció una analogía entre la Tierra y la Luna, considerando ambas como cuerpos celestes de la misma naturaleza. La primera objeción que se puede hacer a esta explicación de las observaciones e interpretaciones galileanas es que, en realidad, la innovación de Galileo tampoco consistió en inter-

²⁴ Veremos más adelante cómo la *objetividad* no tiene por qué coincidir con la *verdad visual* o inmediata. Es más, ésta última cae en el terreno de la individualidad, de lo subjetivo, y en tanto en cuanto no es transmisible no puede ser evaluada su objetividad. Véase al respecto Gombrich 1980, *op. cit.* (nota 12), pp. 182 y ss.

pretar las manchas lunares como cráteres y montañas, pues tal interpretación venía circulando, con mayor o menor éxito, por lo menos desde Plutarco. En segundo lugar, es cierto que Galileo defendió la analogía entre la Tierra y la Luna, comparando los valles y montañas terrestres con las irregularidades topográficas lunares, y pudiendo así explicar los efectos de la luz reflejada sobre ellos; mas tiendo a pensar que esa analogía fue más una lectura copernicana de unas observaciones ya previamente interpretadas que la clave misma de la interpretación de las manchas lunares como valles, montañas y cráteres. Y esa interpretación previa fue posible gracias a un proceso de inferencia visual y a la utilización de determinados modelos visuales de perspectiva esférica que circulaban en la geometría del momento²⁵.

Reconstruyamos el proceso. En un primer momento Galileo apunta su telescopio a la Luna y toma unas notas gráficas. Unos días después realiza las acuarelas de la Luna, en las cuales quedan patentes las técnicas de claroscuro que resaltan los perfiles de las zonas de sombra y luz (figura 5). Pero ¿qué llevó a Galileo a usar esa técnica para realizar una representación pictórica que apuntaba ya a la idea de una orografía lunar? Muy probablemente nos ayude recordar que por entonces Galileo estaba en Padua, donde enseñaba perspectiva geométrica, y estaba muy familiarizado con los textos de perspectiva esférica que habían empezado a circular pocos años antes (figuras 6 y 7). Lo que propongo es que Galileo realizó un proceso de inferencia visual, aplicando los modelos de perspectiva esférica a sus observaciones. En este caso, para Galileo el modelo eran esas ilustraciones geométricas, que eran tipos ideales de cuerpos esféricos con topografías que ilustraban los reflejos de la luz y las sombras resultantes. La Luna era un caso concreto de ese prototipo en el que estaban contenidos los rasgos que permitían establecer la similitud o analogía. Por último, a través de ese proceso de inferencia visual se elabora el mapa que encontramos en el *Sidereus Nuncius* (figura 8), pero ese mapa no es una mera descripción de lo observable, sino que es una representación interpretada, y esa interpretación ha seleccionado los rasgos relevantes a través de un proceso de inferencia visual entre imágenes. Nos podríamos preguntar aquí si Kuhn habría aceptado este caso como la resolución de un problema (las manchas de la Luna) gracias a la identificación de pertenencia a un ejemplar (los modelos de perspectiva esférica) por un proceso cognitivo de percepción de similitud.

El caso nos sirve también para estudiar cómo la relación entre un modelo-prototipo y el objeto o fenómeno físico real no es un sistema cerrado, sino que se produce lo que yo llamaría una «cascada» o derivación de modelos. Si para Gali-

²⁵ Cfr. Edgerton, S.Y., *The Heritage of Giotto's Geometry: Art and Science on the Eve of Scientific Revolution*, Ithaca, N.Y., Cornell University Press, 1991, esp. «Galileo, Florentine 'Disegno' and the 'Strange Spottedness' of the Moon», pp. 223-253.

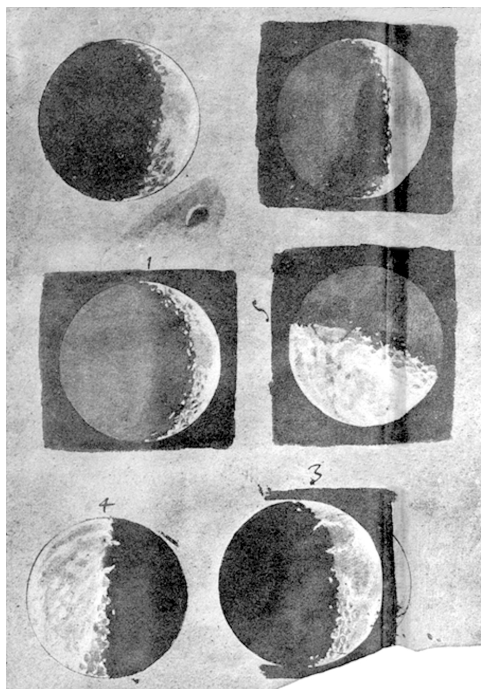


Figura 5. Acuarela de Galileo a partir sus primeras observaciones de la Luna, 7 de enero de 1610. Florencia, Biblioteca Nazionale, Manuscrito Galileano 48, fol. 28v.

leo el modelo que permite una lectura del objeto físico son las ilustraciones de perspectiva geométrica, para los sucesores de Galileo, el modelo es el mapa de la Luna de éste último. Cuando Harriot observó y dibujó la Luna antes que Galileo, no interpretó las manchas como resultado de las diferencias de alturas y reflejos luminosos, pero cuando unos meses más tarde llegó a sus manos el mapa lunar de Galileo, entonces sí que fue capaz de reinterpretar sus observaciones telescópicas²⁶. Para Harriot, como para muchos otros después de él, el modelo o prototipo era el mapa lunar galileano (figura 9).

Este caso me parece especialmente interesante para hacer una matización a la propuesta de Giere, pues el mapa-modelo (en este caso el mapa de la Luna) no representa directamente, por similitud, el sistema del mundo real, sino que en la elaboración del modelo visual que el científico presenta hay procesos de inferencia y de analogía con otros modelos que no se hacen explícitos. Y que es lo que tanto el historiador como el filósofo de la ciencia tendrían que elucidar en cada caso.

²⁶ *Ibidem.*

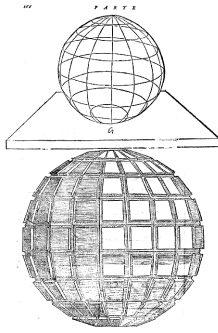


Figura 6. Estudios de perspectiva esférica, en *Pratica della prospettiva* de Daniele Barbato, 1569.

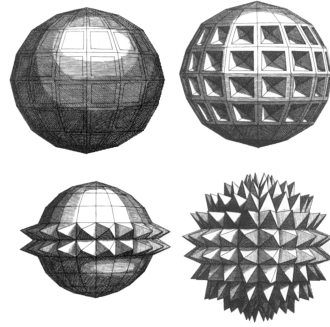
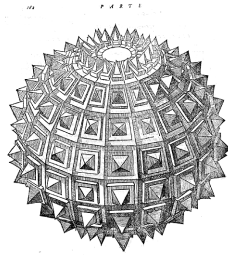


Figura 7. Estudios de perspectiva esférica, en *Pratica di prospettiva* de Lorenzo Sirigatti, 1596.

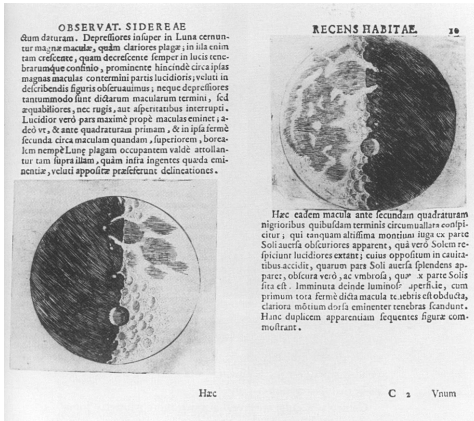


Figura 8. Grabados de la superficie lunar, en *Sidereus Nuncius* de Galileo, Venecia, 1610.

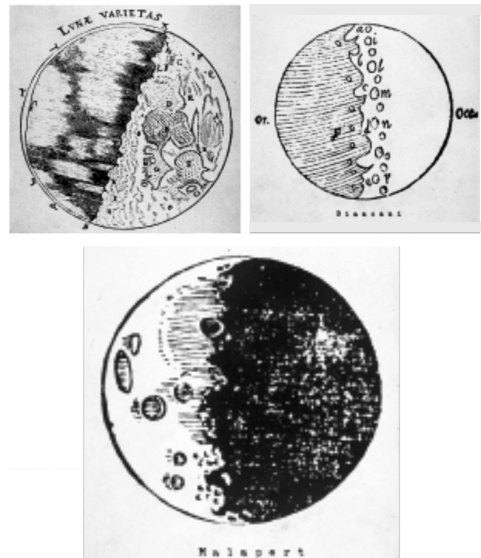


Figura 9. Dibujos de la Luna realizados por Scheiner (1614), Biancani (1620) y Malapert (1619).

2. Los atlas de los siglos XVIII y XIX

Otro interesante tipo de representaciones pictóricas de objetos visibles es el de las imágenes *descriptivas* que encontramos en los herbarios, obras de botánica, de anatomía y en general en los atlas naturales. No requieren, en su mayoría, del uso

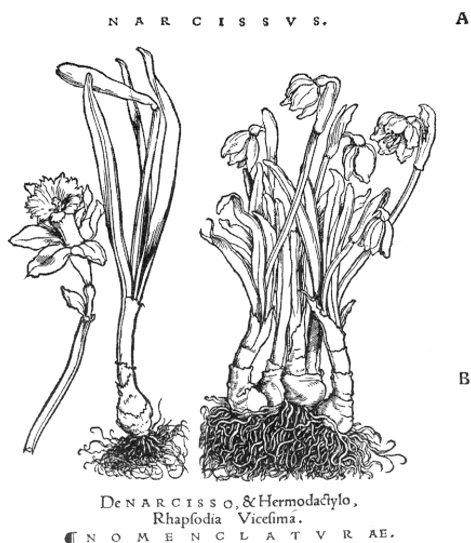


Figura 10. Ilustración de *Herbarium vivae icones* de O. Brunfels, 1530.

de ningún instrumental de observación, no presentan los problemas de interpretación visual que comporta el uso de éstos, y entroncan con la tradición más clásica de la ilustración científica.

Escribía Leonhart Fuchs en su prefacio a una de las obras de botánica mejor ilustradas y con una mayor insistencia en la copia del natural: «¿Quién, en sus plenas facultades mentales, condenaría imágenes que son capaces de comunicar información mucho más claramente que las palabras más elocuentes?»²⁷. *Comunicar información*. Pero ¿a qué información se refiere, o cuál es la naturaleza de esa información? ¿Qué tipo de información es la que se pretende transmitir y que el autor considera relevante? ¿Debemos interpretar, al ver la ilustración naturalista de un narciso particular y concreto que todos los narcisos tienen las hojas dobladas y estropeadas, etc.»²⁸ (figura 10). El problema se plantea cuando la ilustración científica empieza a hacer alarde de empirismo y de realismo, recurriendo para ello a la representación de lo accidental y concreto. Y se plantea sobre todo cuando esa representación de lo accidental va acompañada de una aspiración de objetividad. ¿Mas ser empíricamente preciso, profuso en los detalles, realista, equivale a ser objetivo? ¿O para que una imagen científica sea objetiva es más adecuado que el dibujante establezca algo así como unas condiciones de laboratorio, que reduzca las

²⁷ Fuchs, L., *De historia stirpium*, Basilea, 1542.

²⁸ Cfr. Kemp 1990, *op. cit.* (nota 8).

variables, los ruidos emocionales –como dirían los psicólogos? ¿Transmite información científica la representación de fenómenos y objetos particulares por sí sola²⁹?

El problema, en el fondo, es el de si el conocimiento científico debe transmitir conocimiento de lo general o de lo particular, de los universales o de lo accidental, de los modelos o de sus múltiples casos reales. La cuestión, de naturaleza esencialmente filosófica, ha dejado su huella y ha pesado decisivamente sobre la historia de la representación visual en la ciencia. Platón decía que las imágenes nos enseñan sólo la apariencia, que puede engañar, y que sólo contribuyen al auténtico conocimiento en la medida en que nos ayudan a alcanzar el conocimiento de los universales, de los modelos, que son lo realmente objetivo. Y Aristóteles, contra la fundamentación esencialista de la verdad, afirmaba en la *Poética* (1451a) que el filósofo y el científico buscan lo verdadero, que es a su vez lo universal, mientras que el artista se queda en el terreno de lo verosímil. Paradójica y significativamente, sin embargo, ambos defendían la vista como el sentido privilegiado para conocer el mundo natural.

Volviendo ahora a la propuesta de tomar en consideración la posible adecuación de la noción de *mapa-modelo representacional* a la función de las imágenes de lo visible, nos hemos de preguntar: ¿no parecería contradictorio interpretar las imágenes descriptivas y naturalistas que dicen estar copiadas del natural (y que por tanto se ofrecen como representaciones de casos concretos) como modelos idealizados, tal como los concibe por ejemplo Giere en su concepción representacional?

Referiré aquí, a modo de episodio clarificador, el descrito, desde perspectivas diferentes, por L. Daston y P. Galison, por un lado, y M. Kemp³⁰, por otro: la producción de atlas descriptivos en los siglos XVIII y XIX y la insistencia de sus autores en asociar la representación pictórica a la *objetividad*. El propósito de estos atlas era *homogeneizar* al sujeto observador y los objetos observados eliminando elementos idiosincrásicos. Pretendían presentar una naturaleza apta para ser estudiada científicamente, reemplazar la experiencia desordenada y casual, lo contingente, específico o accidental, por una experiencia elaborada. Según Das-

²⁹ Cfr. Ackerman, J., «Early Renaissance ‘Naturalism’ and Scientific Illustration», en Ellenius (ed.) 1985, *op. cit.* (nota 9), pp. 1-17. Sobre la noción de *información* respecto a las imágenes visuales véase Black, M., «How Do Pictures Represent», en Gombrich, E.H., Hochberg, J., y Black, M., *Arte, percepción y realidad*, Barcelona, Paidós, 1973, pp. 127-169.

³⁰ Daston, L., y Galison, P., «The Image of Objectivity», *Representations*, 40 (1992), pp. 81-128, y Kemp, M., «‘The Mark of Truth’: Looking and Learning in Some Anatomical Illustrations from the Renaissance and Eighteenth Century», en Bynum, W.F., y Porter, R., (eds.), *Medicine and the Five Senses*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993 (también en Kemp 1999, *op. cit.* [nota 8], pp. 199-229). Es interesante hacer notar, como ejemplo de la falta de comunicación entre investigadores que desde diferentes disciplinas se ocupan de los mismos problemas, que tratándose en este caso del mismo tema, de reflexiones muy similares entre sí y de trabajos realizados en las mismas fechas, ni Daston y Galison parecen conocer la obra de Kemp ni viceversa.

ton y Galison, las imágenes de estos atlas, en cuanto que presentan los resultados de tal experiencia elaborada, son *objetos de trabajo* (*working objects*)³¹. La aspiración de objetividad parece ya aquí encontrar un primer obstáculo, desde el momento en que hay que seleccionar esos objetos que han de ser presentados como fenómenos estándar de la disciplina, y esa selección ha de estar realizada desde un determinado punto de vista. Pero los obstáculos nacían, en realidad, de problemas más hondos, de una falta de acuerdo acerca del concepto mismo de objetividad y de cómo ésta había de quedar reflejada en la investigación científica.

Los autores de estos atlas tuvieron que enfrentarse a la tensión subyacente entre la pretensión de ofrecer imágenes que reflejasen *fielmente* la naturaleza, por un lado, y la de que esas imágenes transmitiesen un contenido informativo que las hiciese merecedoras de ser imágenes científicas. La solución teórica ofrecida al problema se basó en el recurso al *ideal de tipos*, que reflejaba la convicción de que la realidad está compuesta por fenómenos típicos y que éstos se derivan de un *tipo* o *arquetipo*. Las imágenes *típicas* o *arquetípicas* dominaron los atlas descriptivos de los siglos XVIII y XIX, pero más allá de esta idea de fondo, el problema fue cómo reflejar visualmente los *tipos*, pues éstos no tenían por qué estar en un ser real y concreto, aunque el investigador los podía intuir a raíz de una experiencia acumulativa. Las posibles soluciones a este último problema quedaron bien reflejadas en la polémica entre dos anatomistas que coincidían en la necesidad absoluta de la representación visual y su valor de objetividad: Bernard Siegfried Albinus y William Hunter.

El primero de ellos, Albinus, insistía en la precisión de sus imágenes, que decía que estaban copiadas del natural y eran el resultado de sus disecciones³². Y efectivamente sus ilustraciones estaban realizadas con excelentes estrategias y precauciones técnicas; tantas y tan meticulosas que –y aquí surge la sospecha– la ilustración de un ejemplar podía llevar tres meses de tiempo. No parece muy creíble que un mismo cuerpo muerto, y más en aquellos tiempos, durase tanto en las perfectas condiciones que se observan en las ilustraciones de Albinus (figura 11). Lo cual quiere decir que sus imágenes eran, en realidad, imágenes de un cuerpo humano ideal que puede o no existir en la naturaleza y del cual el cuerpo real y concreto es una aproximación. Para Albinus, la naturaleza está llena de diversidad, pero la ciencia no puede estarlo. Y las imágenes, en cuanto imágenes científicas, han de evitar esa diversidad y presentar un modelo idealizado que marque las pautas de la similitud con la pluralidad de objetos reales que se subsumen en él. Los universales tienen una garantía ontológica en los particulares, y el universal tiene que ser representado visualmente en una imagen concreta. Ninguna imagen de un particular, con todos sus detalles accidentales, pue-

³¹ Cfr. Daston y Galison 1992, *op. cit.* (nota 30), pp. 84-85.

³² Albinus, B.S., *Tabulae sceleti et musculorum corporis humani*, Basilea, 1747.

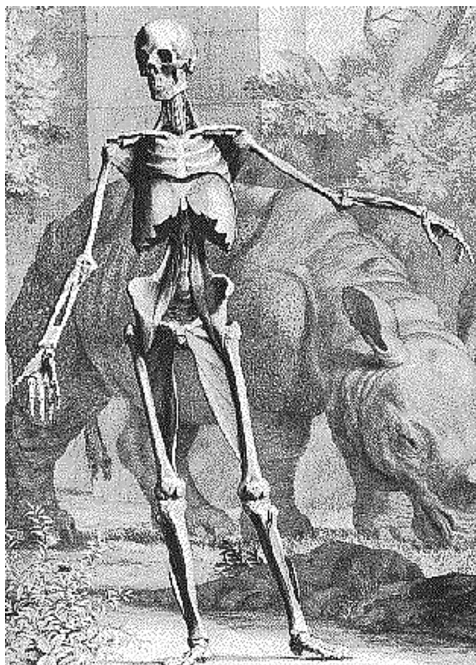


Figura 11. Ilustración de *Tabulae sceleti et musculorum humani* de B.S. Albinus, Basilea, 1747.

de captar lo ideal³³. Nada mejor que las palabras del propio Albinus para expresar esta idea: el objetivo del control visual e intelectual del científico es ofrecer representaciones pictóricas claras de aquellas características «que muy difícilmente, y a veces en modo alguno, pueden ser observadas de forma tan evidente en los cuerpos mismos»³⁴.

William Hunter, en cambio, y criticando a Albinus, se mostró un defensor radical de la representación *en carne y hueso*, de unas ilustraciones anatómicas de un realismo absoluto que ilustraban el particular, aquello que había sido visto en un determinado lugar, momento y condiciones. Nada de efectos especiales o trucos ornamentales, sino absoluta fidelidad al detalle. Hasta una mancha, una cicatriz, una irregularidad o cualquier defecto, tenía que ser registrado fielmente sin pensar en su significado anatómico (figura 12). Como dice Kemp, el objetivo de Hunter era capturar en la imagen una «inocente percepción lockeana, más que registrar la 'idea' obtenida después de la interferencia de la interpretación». Pues es el individual, pensaba Hunter, el que lleva «la marca de la verdad», al ejemplificar una clase

³³ Daston y Galison 1992, *op. cit.* (nota 30), pp. 89-91.

³⁴ Albinus 1747, *op. cit.* (nota 32), p. xix.

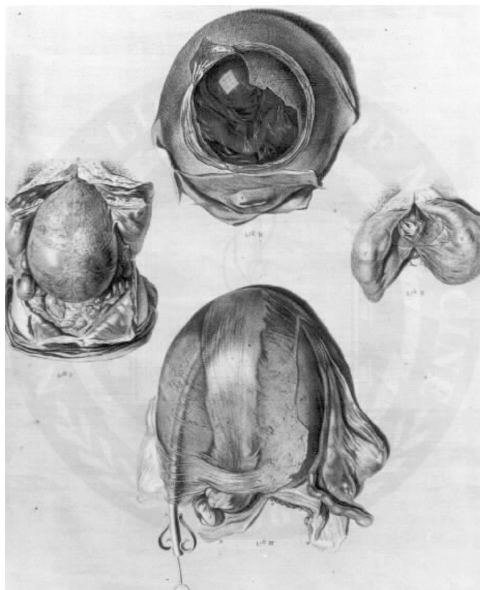


Figura 12. Ilustración del útero, en *Anatomia uteri humani gravidi* de W. Hunter, Birmingham, 1774, tabla XXVI. El deseo de ilustrar el caso concreto, con todos los detalles de la observación, queda patente en el reflejo de una ventana en la placenta de la figura superior.

completa de objetos similares. Hunter sabía bien, sin embargo, que ese empirismo realista y radical podía traicionar «la marca de la verdad», pues el exceso de detalles hace que lo científicamente esencial quede indefinido, que los elementos que permiten el reconocimiento se pierdan en una marea de información³⁵.

Casos como los hasta ahora comentados nos inducen a pensar que la concepción representacional de los modelos es una interesante alternativa filosófica para entender cómo se elaboran y cómo funcionan las imágenes científicas, pero siempre que se tenga en cuenta la pluralidad de modos de establecer la relación de *similitud* (entre el modelo o representación pictórica y el sistema del mundo real) y cómo ésta, aun en el caso de imágenes descriptivas, no consiste en una ingenua relación de parecido. En primer lugar, es posible tener la ambición de copiar del natural y de forma realista y que a pesar de ello, en el acto de traducción pictórica, se realice un proceso de abstracción de rasgos; lo cual puede suceder por motivos técnicos (ineludibles desde el momento en que se pasa de un objeto

³⁵ Cfr. Cumming, W., *The Proof of Infanticide Considered Including Dr. Hunter's Tract on Child Murder*, Londres, 1836. Hunter leyó su discurso en la Medical Society de Londres en 1738.

tridimensional a una imagen bidimensional), pero también porque sólo somos capaces de copiar aquello que de alguna forma encaja con nuestros esquemas conceptuales. Lo cual estaría muy cerca de la conocida afirmación de que sólo vemos aquello que sabemos ver, y que en este caso sería «aquello de lo cual tenemos modelos visuales previos». En segundo lugar es posible que la relación de similitud entre la imagen y lo representado esté mediada por inferencias visuales subsidiarias, como hemos visto en el caso del mapa lunar galileano. Por último, hay casos en los que la selección de rasgos es algo premeditado y que se impone a modo de guía teórica para el reconocimiento de la pluralidad de objetos que cumplen la relación de similitud con el prototipo o modelo. En cualquier caso, la relación de similitud no está carente de presupuestos y condicionamientos teóricos y forma parte de una red de conocimientos previos, de expectativas y de capacidades de lectura de la representación visual. En realidad, tal afirmación se presenta como un desarrollo de la idea kuhniana de la reunión cognitiva de cualidades de objetos y fenómenos naturales que genera ejemplares y taxonomías. Estas «constelaciones de cualidades», decía Kuhn, son el resultado de «una percepción aprendida de similitud y diferencia». Aplicar esta idea a la función de las imágenes teniendo en cuenta su analogía con los mapas y modelos puede contribuir en gran medida a entender cómo se transmiten y desarrollan en la práctica científica las taxonomías naturales. Para seguir con un ejemplo kuhniano, un niño aprende a distinguir entre un pato, un cisne y un ganso estableciendo perceptualmente similitudes y diferencias entre ellos a lo largo de un proceso de repetición y corrección, pero no debemos olvidar que muchas veces qué sea un ganso, un pato o un cisne no se aprende viendo directamente esas aves, sino observando dibujos de ellas. Un niño que nunca haya visto un pato real lo reconocerá si está familiarizado con los dibujos que se hacen de él y estará utilizando estos últimos como un mapa o modelo de reconocimiento de la realidad y de otros ejemplares gráficos. Claro que esos dibujos contienen ya el conglomerado de cualidades necesarias para establecer esa clasificación natural y excluyen otras que son irrelevantes.

5. Los modelos visuales de lo invisible

Hasta aquí nos hemos referido a la concepción representacional de los modelos aplicada al caso de las imágenes científicas y a la relación de similitud que vincula al modelo visual con el objeto o sistema del mundo real. Mas lo hemos hecho siguiendo la noción de *mapa-modelo* y tratando casos de imágenes que representan objetos o fenómenos reales visibles. ¿Qué sucede en cambio si intentamos aplicar esta concepción representacional a las imágenes científicas que se refieren a entidades o sistemas no visibles? Si se trata de modelos ¿de qué son el modelo? ¿cuál

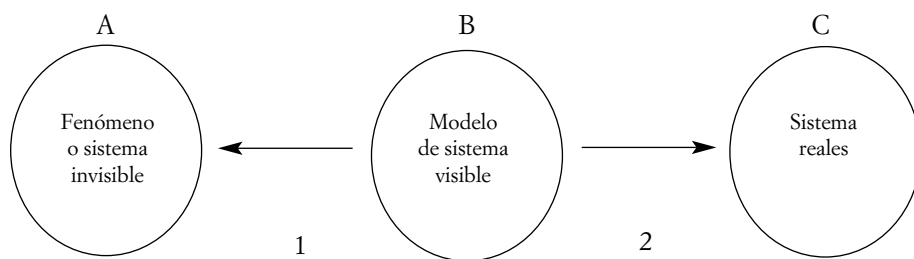


Gráfico 3.

es el sistema del mundo real que se supone que ha de estar vinculado al modelo por una relación de similitud? ¿qué querría decir en este caso *ser similar a*? ¿o cómo se establece esa relación de similitud?

Una posible respuesta a estas preguntas es que estos modelos visuales de lo invisible –que en la mayoría de los casos tienen una función explicativa– recurren con frecuencia a las analogías y metáforas de lo visible, y por tanto su relación de similitud con lo real se establece de una forma indirecta. Lo no visible es convertido, por analogía, en un modelo de un sistema real visible, y este modelo se vincula, con una relación de representación, a los sistemas reales. Tal como queda reflejado en el gráfico 3, nótese que tanto 1 como 2 son procesos de comparación, establecimientos de correspondencias, pero con una diferencia significativa: mientras que 1 es una elección teórica, una hipótesis analógica, 2 se basa en un criterio empirista de similitud. Se dice que el modelo visual de lo invisible representa el mundo real, pero en este caso se trata de una representación analógica de características muy diferentes a las mencionadas en los casos de mapas modelos.

Esta interpretación de la elaboración y función de las imágenes de lo invisible queda bien ejemplificada en el caso de los vórtices cartesianos (figura 13). Se dice que las ilustraciones de los vórtices (A) *representan* la estructura real e invisible del mundo (M). Pero ¿en qué sentido se dice que A representa M? La representación –en el sentido de representación visual– es sólo indirecta, y se realiza a través del establecimiento de una elección teórica según la cual la estructura invisible del mundo (M) es análoga a un sistema físico y visible de movimiento de partículas con sus respectivas interacciones mecánicas. La imagen de los vórtices (A) es una representación pictórica de un modelo mecánico teórico (B), que funciona como prototipo de los sistemas materiales del mundo real, y por tanto entre ellos se podría hablar de una relación de similitud. Pero lo importante es que la representación pictórica A (que representa el sistema mecánico de movimiento de partículas B, pero que también dice representar la estructura invisible del mundo) determina las propiedades empíricamente relevantes –para explicar lo invisible– de B.

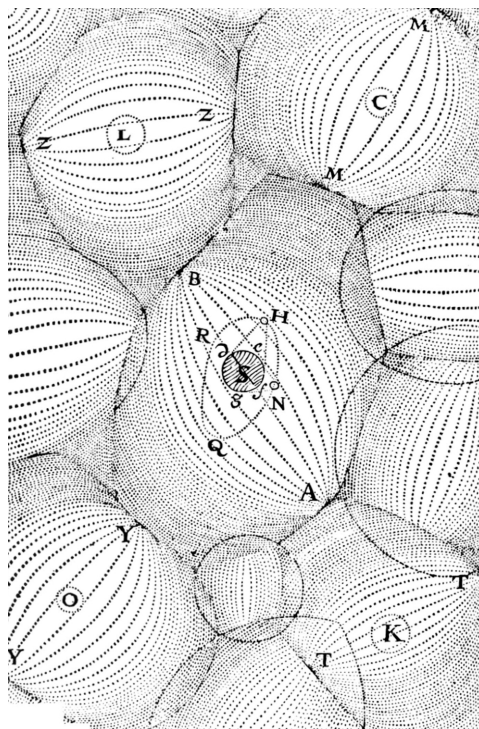


Figura 13. Vórtices celestes, en *Principia Philosophiae* de Descartes, 1664.

Es decir, el diagrama de vórtices muestra que no es necesario que todas las propiedades del mundo macroscópico identificadas por la percepción visual sean representacionales, sino sólo algunas de ellas, en este caso las propiedades geométricas esenciales de la materia (figura 14)³⁶.

³⁶ Véase Baigrie, B.S., «Descartes's Scientific Illustrations and 'la grande mécanique de la nature'», en Baigrie 1996, *op. cit.* (nota 2), pp. 86-134. Subraya Baigrie cómo muchos estudiosos han interpretado este uso de la analogía por parte de Descartes como si quisiese decir que la estructura de los fenómenos que caen más allá del alcance de nuestros sentidos pudiese ser captada por analogía con las propiedades mecánicas de los macrofenómenos. Pero esta afirmación sólo tendría pleno sentido si para Descartes las propiedades de los cuerpos de nuestra experiencia cotidiana fuesen genuinamente representacionales, es decir, si obtuviésemos conocimiento cierto a través de la sensación, lo cual sabemos que no era así para el francés. Sin entrar ahora en el campo de la teoría del conocimiento de Descartes, hemos de notar aquí cómo éste, al introducir la analogía, establece una decisiva selección de rasgos que queda perfectamente reflejada en sus diagramas: sólo forman parte de la analogía las propiedades geométricas de la materia y las leyes del movimiento. Este carácter no completo de la analogía queda bien patente cuando Descartes compara, verbal y visualmente, la luz con un bastón, pues está claro que él, que concebía la luz como una presión en el medio, no quería

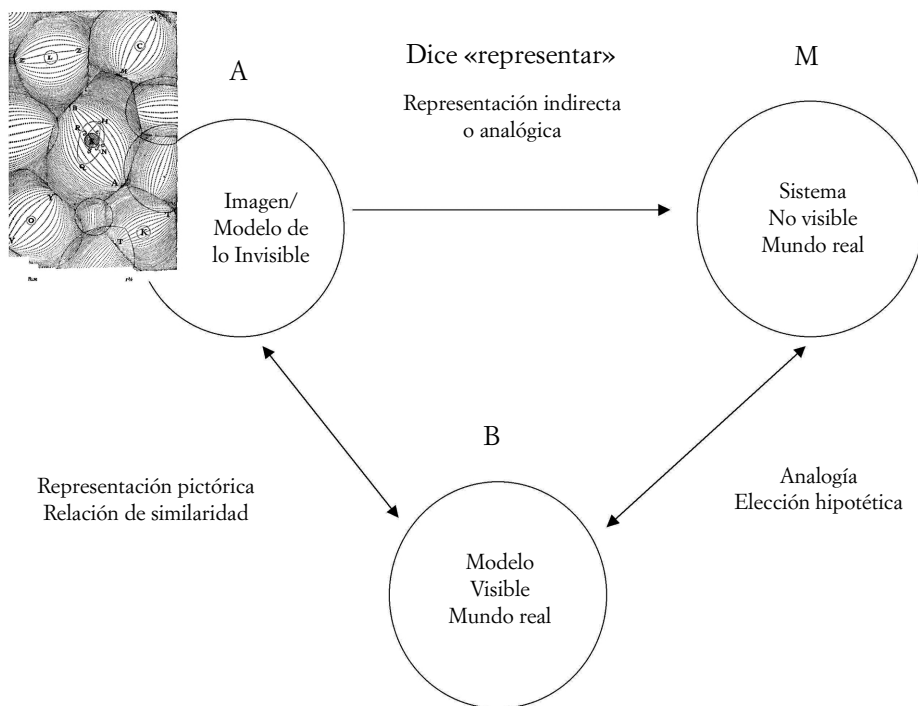


Figura 14.

Llegados a este punto, se abre una nueva vía para responder a la pregunta acerca de en qué sentido se puede hablar de las imágenes de lo invisible como modelos o sistemas de modelos relacionados entre sí y con el mundo real por una relación de similitud. Pues la *analogía* puede ser considerada como una similitud altamente selectiva, es decir, al proponer una analogía, la ciencia se concentra en determinados elementos o relaciones estructurales que coinciden en los dos dominios relacionados. En el caso mencionado, la representación pictórica de los vórtices –invisibles– plasmada en una representación pictórica de un sistema mecánico visible no quiere decir que el mundo invisible sea ese sistema, sino que indica los elementos y relaciones que comparten la estructura invisible del mundo con los sistemas físicos observables. No es una casualidad que algunos autores hayan subrayado que la analogía es un *mapa* en el que el conocimiento que poseemos de un dominio dado o base (en este caso los sistemas mecánicos visibles) representa a

decir «que la luz fuese extensa como un bastón, sino como las acciones o movimientos transmitidos por un bastón».

otro –o dominio objeto– de modo tal que un sistema de relaciones que se produce entre los elementos del primero se produce también en el del segundo³⁷.

Por supuesto, un análisis como éste no agota todos los casos de las imágenes científicas de hechos o fenómenos invisibles. Sería necesario recoger los comentarios hechos más arriba a propósito de los distintos tipos de representaciones gráficas de lo invisible, pues tanto sus respectivos procedimientos de elaboración como su significado e intenciones son profundamente diferentes. Piénsese, sólo por poner un ejemplo, en la gran distancia que separa a los famosos diagramas de Feynman de una imagen obtenida en una resonancia magnética y generada por computadores.

Tras estas digresiones podemos volver a las preguntas planteadas al principio: hasta qué punto se puede hablar de una naturaleza representacional de las imágenes y en qué medida es legítimo referirnos a ellas como parte integrante del razonamiento científico. En cuanto al primer punto, estoy convencida de que la concepción representacional de los modelos aquí comentada constituye una clave esencial para entender cómo las imágenes representan el mundo, pero siempre que se profundice en el concepto de *similitud* que vincula al modelo o imagen con el mundo real. En primer lugar se corre el riesgo de identificar representación con similitud, lo cual sería un grave error, pues puede haber muchos objetos similares entre sí y en muchos aspectos y sin embargo no darse entre ellos ninguna relación de representación; el caso extremo de similitud sería la identidad: un objeto se asemeja en grado sumo a sí mismo a pesar de que raramente se representa a sí mismo³⁸. Ante las debilidades de la noción de similitud, no basta desenterrar una idea burda de parecido, ni afirmar que es el propio modelo el que impone las condiciones de esa semejanza, ni reducir la similitud a una *aproximación isomórfica*. Y creo que tampoco tiene mucho sentido pretender establecer algo así como las condiciones necesarias y suficientes de la relación de similitud con el objetivo de aplicarlas al modo de representar de *todas* las imágenes. La similitud no es algo puramente perceptual, sino que depende de un complejo entramado

³⁷ Cfr. Gentner, D., y Jeziorski, M., «The Shift From Metaphor to Analogy in Western Science», en Ortony, A., (ed.), *Metaphor and Thought*, Cambridge, Cambridge University Press, 1993, pp. 447-479. Cabría desarrollar el tema profundizando en las potencialidades heurísticas de estas imágenes analógicas y en su poder para reforzar las *metáforas constitutivas* que según autores como Boyd son centrales en el desarrollo de las teorías científicas; cfr. Boyd, R., «Metaphor and Thought», en *ibidem*, pp. 481-532.

³⁸ Cfr. Goodman, N., *Los lenguajes del arte*, Barcelona, Seix Barral, 1976, especialmente el cap. 1. Una interesante crítica a la noción de semejanza como criterio de la representación se encuentra en Black, M., «¿Cómo representan las imágenes», en Gombrich, Hochberg y Black 1973, *op. cit.* (nota 29), pp. 127-169.

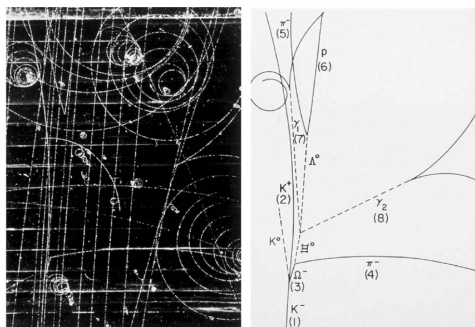


Figura 15. Registro visual de partícula omega minus en cámara de niebla (izquierda), y diagrama de las trayectorias de la omega minus (derecha).

de experiencias, de conocimientos previos y de presupuestos teóricos. A lo cual yo añadiría que depende también, y de forma decisiva, de las intenciones del productor de la imagen y de sus expectativas de que esa similitud sea bien interpretada. Como se decía más arriba a propósito de los tipos de imágenes, éstas pueden ser reconocidas desde un punto de vista pragmático por su función, que puede ser pedagógica, explicativa, descriptiva, etc., y cada una de ellas marca las pautas del sentido que se ha de atribuir a la similitud. Cuando Maxwell hizo su famoso dibujo para hacer entender a sus colegas su concepción de las líneas de fuerza magnéticas no *quería decir* que el mundo estuviese compuesto por algo parecido a hexágonos rodeados por un fluido formado de pequeñas bolas; cuando se nos presenta un diagrama que dice representar la trayectoria de la partícula omega-minus, no se *quiere decir* que ese diagrama sea una representación esquemática de algo visto y con lo que se ha establecido una comparación directa, pues no sólo selecciona e interpreta elementos de datos observables, sino que introduce otros que no aparecen en los registros fotográficos (figura 15). O para retomar un caso ya tratado aquí: la *intención* de Albinus al dibujar sus anatomías perfectas no era convencer al observador de la imagen de que podía encontrar en sus disecciones órganos como aquéllos, sino que se estaba expresando un sentido de similitud que pasaba por la aceptación de los *tipos ideales*.

En cuanto a la cuestión de si las imágenes forman parte del razonamiento científico, lo aquí expuesto puede ofrecer una respuesta afirmativa siempre que aceptemos que los modelos mentales (que pueden ser lingüísticos pero que no tienen por qué serlo necesariamente) constituyen una parte esencial del razonamiento científico. De la misma forma que en los modelos mentales se pone en marcha un proceso de simulación de fenómenos (como en el caso de los experimentos mentales), las imágenes constituyen materializaciones visuales de determi-

nados modelos. Modelos que pueden ser imaginarios o analógicos, como en el caso de los que se refieren a lo invisible, o que derivan de una acumulación e interpretación de la experiencia, como en el caso de los atlas descriptivos. En cualquier modo, las imágenes se presentan como sustitutos, simulaciones más o menos elaboradas del mundo real. En el caso de las imágenes de lo invisible, desde el momento en el que se tiene un sustituto visual y analógico es mucho más factible desarrollar hipótesis que completen o corrijan la propuesta teórica inicial; se puede observar, operar o experimentar con el sustituto visible y transferir el nuevo conocimiento adquirido a la explicación teórica de lo invisible. El modelo a escala de doble hélice construido por Watson y Crick para investigar la estructura del ADN podría ilustrar bien este uso de los modelos no verbales en la ciencia. Lo cual nos lleva, a su vez, a intuir el valor del estudio de la otra cara de la moneda: tan interesante como investigar cómo se elaboran y funcionan las imágenes en el razonamiento científico es subrayar cómo buena parte de la actividad científica se elabora basándose en estos modelos visuales que sustituyen al mundo y no en la experiencia directa de los objetos y fenómenos.