SIMILARIDADES, ISOMORFISMOS Y HOMEOMORFISMOS ENTRE REPRESENTACIONES CIENTIFICAS†

(*Similitudes, Isomorfisms and Homeomorfisms Among Scientific Representations*)

Javier ECHEVERRIA*

* Instituto de Filosofía, CSIC, Pinar 25, 28006 Madrid. E-mail: flvee20@fresno.csic.es

BIBLID [0495-4548 (1998) 13: 31; p. 89-112]

RESUMEN: La concepción semántica en filosofía de la ciencia propuso las relaciones de isomorfismo (van Fraassen) y semejanza (Giere) para analizar las representaciones científicas. Recientemente, Ibarra y Mormann han sugerido una geometrización de la concepción representacional en filosofía de la ciencia. Este artículo afirma que es precisa una relación más general (la de homeomorfismo) para reconstruir las representaciones científicas externas que son utilizadas en la práctica científica contemporánea, y especialmente en la visualización científica digitalizada.

Descriptores: filosofía de la ciencia, representaciones científicas, visualización científica, concepción semántica, práctica científica.

ABSTRACT: *The semantical view on philosophy of science has proposed the relationships of isomorfism (van Fraassen) and similitude (Giere) in order to analyse scientific representations. Recently, Ibarra & Mormann have suggested a geometrization of the representational view on philosophy of science. This contribution claims that a more general relationship (homeomorfism) is needed to reconstruct external representations used in contemporary scientific practice and, specially, in scientific digitalized visualization.*

Keywords: *philosophy of science, scientific representations, scientific visualization, semantic view, scientific practice.*

SUMARIO

1. Introducción
2. Las representaciones científicas según van Fraassen y Giere
3. Argumentos contra la relación de similaridad entre la representación y lo representado
4. Geometría y topología de las representaciones científicas
5. Homeomorfismos entre representaciones científicas
Bibliografía

1. Introducción

El interés por las diversas representaciones que usan los científicos (diagramas, tablas, planos, gráficas, simulaciones informáticas, etc.) ha aumentado mucho en los últimos años, tanto en filosofía de la ciencia como en la propia práctica científica. Esta última recurre cada vez más a la *visualización científica*[1], tanto al investigar como al aplicar o enseñar el conocimiento científico, siendo de gran utilidad para la resolución de problemas. En el caso de la filosofía de la ciencia, la teoría representacional ha surgido a partir de la concepción semántica, que se caracteriza por considerar a las teorías científicas como clases de modelos y no como entidades exclusivamente lingüísticas: la construcción de modelos matemáticos de los fenómenos empíricos implica el uso de representaciones, a partir de las cuales se formulan enunciados, hipótesis y leyes generales. Autores tan diversos como Suppes, Sneed, van Fraassen, Giere, Moulines o Balzer coinciden en esta caracterización de las teorías científicas, sin perjuicio de que luego difieran entre ellos por sus concepciones ontológicas y metodológicas. La concepción semántica rompió así con la concepción heredada (*received view*) y centró el análisis filosófico en los modelos y representaciones, más que en los conceptos y enunciados. Desde entonces, numerosos autores han prestado una atención cada vez mayor a las representaciones del conocimiento científico, hasta el punto de haber sido propuesta una *concepción representacional* de las teorías científicas[2]. Dicho enfoque permite analizar diversos aspectos de la práctica científica sin abandonar los postulados básicos de la concepción semántica. Siendo la noción de representación considerablemente polívoca[3], conviene precisar desde el principio que las representaciones a las que aquí nos referiremos no son representaciones mentales subjetivas, sino representaciones intersubjetivas, socialmente normalizadas, que han sido aprendidas en el contexto de educación científica y luego han sido modificadas en los contextos de innovación y de aplicación[4]. Algunos autores[5] distinguen entre formas internas y externas de representación científica, considerando que éstas últimas "are external components of a cognitive system with which the internal components interact during a dynamic and task-oriented process of development" (Peterson 1996, p. 8). De esta manera remiten el estudio de las representaciones científicas a las ciencias cognitivas. Aquí, por el contrario, partiremos del carácter normalizado e intersubjetivo de las representaciones científicas "externas", así como de su anterioridad temporal y conceptual con respecto a las representaciones subjetivas ("internas"). Sí subrayaremos, en cambio, la especial influencia que las tareas propuestas tienen sobre las representaciones que se utilizan para acometerlas.

Salvo escasas excepciones, los filósofos de la ciencia apenas se han ocupado de analizar las representaciones utilizadas por los científicos actuales, centrándose casi siempre en las representaciones gráficas o algebraicas provinientes del álgebra cartesiana, o a lo sumo del cálculo infinitesimal. Este artículo tiene presentes las representaciones informáticas, y no sólo las representaciones matemáticas clásicas, con el fin de contrastar la validez de las propuestas filosóficas vigentes con la práctica científica reciente en el ámbito de la visualización científica. El debate se ha centrado en las relaciones que deben tener la representación y lo representado para que se pueda afirmar que una representación es científicamente adecuada. Van Fraassen (1980) propuso la relación de isomorfismo. Giere (1987) la consideró demasiado restrictiva, propugnando la relación de similaridad como alternativa. El primer objetivo de este artículo consiste en argumentar en favor de un nuevo tipo de relación, los homeomorfismos topológicos, que resultan preferibles por su mayor generalidad. Se subraya así la existencia implícita de una topología en toda representación visual. El segundo objetivo estriba en hacer unas primeras sugerencias para que la teoría representacional pueda ser válida para las diversas formas de visualización científica actualmente utilizadas.

2. Las representaciones científicas según van Fraassen y Giere

En su obra titulada *The Scientific Image*[6], Bas van Fraassen hizo una afirmación tajante:

> la principal lección de la filosofía de la ciencia del siglo XX puede ser la siguiente: ningún concepto que sea esencialmente dependiente del lenguaje tiene en absoluto importancia filosófica (*O.c.*, p. 80).

En lugar de analizar las teorías científicas como entidades lingüísticas, van Fraassen propuso considerarlas como clases de modelos, siguiendo en ello a otros autores, entre los cuales menciona a Wójcicki, Przelecki, Dalla Chiara, Toraldo di Francia, Suppes y Suppe. Según van Fraassen,

> presentar una teoría es especificar una familia de estructuras, sus *modelos*; y en segundo lugar, especificar ciertas partes de esos modelos (las *subestructuras empíricas*) como candidatos para la representación directa de los fenómenos observables (Ibid., p. 89).

La distinción teórico/observacional encontraba así un nuevo marco de tratamiento filosófico, basado en la relación de representación. A la hora de comparar teorías y de definir la noción de adecuación empírica, que desempeña un papel muy importante en el pensamiento de van Fraassen, éste introdujo el requisito de que los modelos entre dos teorías empíricamente equivalentes sean isomorfos entre sí:

> si para cada modelo *M* de *T* hay un modelo *M'* de *T'* tal que todas las subestructuras empíricas de *M* son isomórficas con las subestructuras empíricas de *M'*, entonces *T* es empíricamente tan fuerte como *T'* (Ibid., p. 93).

De esta manera, la preferencia por unas u otras teorías, y por ende por unas u otras representaciones de lo observado, dependían de la relación de isomorfismo.

En su obra *Explaining Science*(Giere 1988), Giere criticó a Van Fraassen por poner como requisito la relación de isomorfismo. Tras mostrarse de acuerdo en considerar a las teorías como clases de modelos[7], Giere afirmó que una teoría tiene dos componentes, una modelística y otra lingüística. Esos entramados o poblaciones de modelos[8] son la base para el análisis filosófico de las teorías; sin embargo, también hay un conjunto de hipótesis que vinculan dichos modelos con sistemas del mundo real[9]. La relación que hay entre los modelos y los enunciados que nos permiten hablar de ellos es la de definición, mientras que la relación entre los modelos y los sistemas reales es la de similaridad. Esta similaridad es una propiedad exigible a las representaciones científicas, y no es reducible a una propiedad lógica o metalógica de un sistema formal:

> The link between models are not logical connections, but relations of similarity. In some cases the difference between two models is that one is an approximation of the other -again not a logical relationship. The links between models and the real world below are nothing like correspondence rules linking terms with things or terms with other terms. Rather, they are again relations of similarity between a whole model and some real system. A real system is identified as being similar to one of the models. The interpretation of terms used to define the models does not appear in the picture; neither do the defining linguistic entities, such as equations (Ibid., pp. 85-86).

Según Giere, la relación de similaridad entre la representación y lo representado es preferible a la de isomorfismo:

> Van Fraassen (1980) suggested that the desired relationship is one of isomorphism. Now, there is surely no logical reason why a real system might not actually be isomorphic to some model. Yet for none of the examples cited in standard mechanic texts, for example, is there any claim of isomorphism. Indeed, the texts often explicitly note respects in which the model fails to be isomorphic to the real system. In other words, the texts often explicitly rule out claims of isomorphism. If we are to do justice to the scientists' own presentations of theory, we must find a weaker interpretation of the relationship between model and real system. The appropriate relationship, I suggest, is *similarity*. Hypotheses, then, claim a *similarity* between models and real systems (Ibid., pp. 80-1).

Las hipótesis teóricas afirman la existencia de un cierto tipo de relación entre los modelos y los sistemas reales. Dicha relación no es tan estricta como un isomorfismo, sino que se limita a ser una similaridad, tanto por ser parcial (sólo afecta a algunos respectos del mundo) como porque ser aproximada (hay un grado mayor o menor de similaridad). Obviamente, esto permite hablar de progreso científico, en la medida en que nuestros modelos vayan considerando nuevos aspectos del mundo y vayan mejorando su grado de precisión o de aproximación. Esta teoría vale tanto para la interrelación entre los individuos y el mundo como para la interrelación entre las comunidades científicas y el mundo. Los individuos y las comunidades científicas serían los constructores y mantenedores de los mejores modelos científicos, entendiendo por tales los más aproximados y los más exhaustivos, desde el punto de vista de su similitud con la diversidad de aspectos del mundo real. La relación de similaridad (y la de isomorfismo) suponen una intercorrespondencia entre los modelos y el mundo, gracias a la cual cabe hablar de verdad, aunque Giere considera filosóficamente irrelevante esta cuestión[10].

3. *Argumentos contra la relación de similaridad entre la representación y lo representado*

Algunos autores han señalado que la relación de similaridad entre las representaciones y lo representado no resulta suficiente para una teoría de la representación. Mencionaremos únicamente dos ejemplos, antes de exponer nuestra propia argumentación.

Estudiando los mapas, que aparentemente están basados en su similaridad con lo mapeado, Withby ha mostrado que incluyen otras muchas relaciones, aparte de la de analogía:

> this use of visual analogy has led to the simplistic assumption that maps are an analogical form of representation. In fact maps, almost always combine iconic and textual representation techniques with those of analogy (Whitby 1996, p. 69).

Los colores, las inscripciones de los mapas, el tipo de líneas y, sobre todo, la representación de una cuarta dimensión (el tiempo) se logra mediante recursos gráficos no basados en la relación de similaridad.

Estos argumentos de Whitby son de tener en cuenta, porque insisten en el carácter semiótico de las representaciones científicas. Toda representación presupone uno o varios sistemas de signos que le permiten establecer relación con lo representado. Por tanto, un estudio de las representaciones científicas debe estar estrechamente vinculado a una semiótica de la ciencia. En este artículo, sin embargo, prescindiremos de la componente semiótica de las representaciones científicas, ateniéndonos exclusivamente al modo en que se plantea el debate en la teoría representacional de la ciencia[11].

Recordemos un segundo tipo de crítica a la relación de analogía, procedente en este caso de la biología.

En el libro *Representation in Scientific Practice* (Lynch, Woolgar (eds.) 1990), Michael Lynch publicó un artículo cuyo objetivo principal consistía en separar el concepto de representación de una fundamentación cognitiva individualista y conducirlo a la idea sociológica de selección, que alude a prácticas coordinadas de grupos, y no a la psicología de un individuo aislado[12]. En la ilustración que analizaba (fig. 1), pasaba de la fotografía de un ribosoma a un esquema del ribosoma, obtenido a base de seleccionar los aspectos más pertinentes para la investigación.

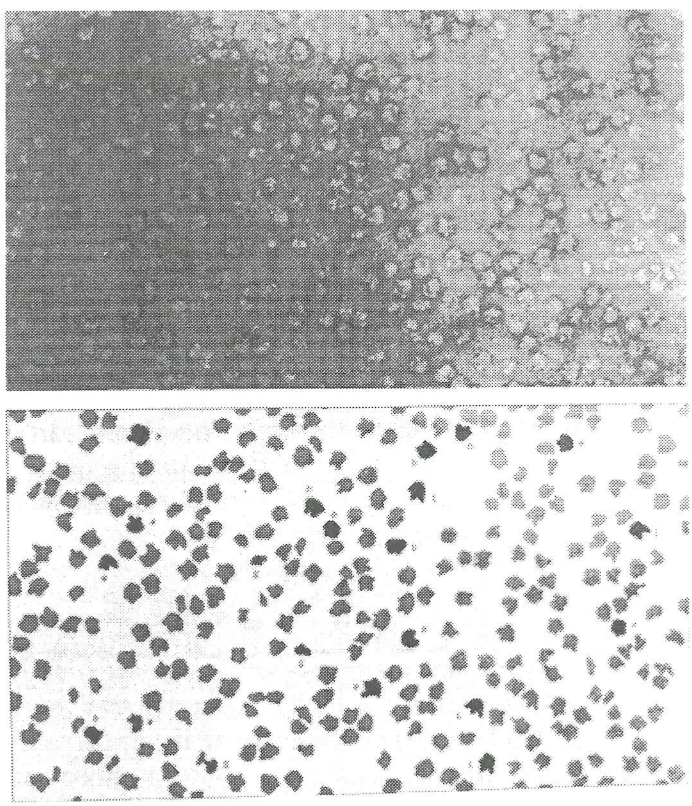

Fig. 1

La tesis de Lynch era que, al pasar de una representación a otra, no sólo se procedía a una selección y simplificación de los aspectos relevantes, sino que dicho proceso también "sintetizaba forma", y en concreto adecuaba el objeto bajo estudio a la situación teórica dominante en la disciplina (Ibid., p. 157). Lynch recalcó que, habiendo dos representaciones de una misma cosa (por ejemplo una fotografía y un diagrama "ulterior"), y pretendiendo que son equivalentes (análogos, parcialmente isomorfos, etc.), lo cierto es que "el diagrama opera sobre lo que se muestra en la fotografía" (Ibid., p. 160). Dicho de otra manera: cuando un científico genera una nueva representación a partir de una primera, la segunda no es inocua respecto a la primera, sino que produce una transformación de la representación inicial. Las sucesiones de representaciones que construyen los científicos conforman el objeto estudiado, y no sólo lo describen analógicamente, porque en cada paso representacional se introducen modificaciones que van ahormando lo representado al marco teórico en el que los científicos trabajan. Recordando a Hacking, podríamos decir que los científicos, al representar el mundo, intervienen sobre el mundo, modificándolo[13]. Representar una fotografía por medio de un diagrama implica transformar considerablemente la fotografía, y no sólo por eliminación de los aspectos irrelevantes para el objetivo perseguido, sino también por adición de nuevos aspectos y por modificación explícita de la representación primera, con el fin de que la segunda (el diagrama, en este caso) resulte legible e interpretable en el marco teórico en el que se construyen dichas representaciones científicas. Podríamos decir, por tanto, que las representaciones están cargadas de teoría, y por eso mismo lo representado y la representación no están en una relación de analogía: la representación transforma y modifica lo representado.

A continuación, Lynch analizaba los cuatro modos de operar unas representaciones sobre otras, en el caso de ilustraciones engarzadas secuencialmente entre sí. Estos cuatro modos son, según Lynch, el filtrado, la uniformización, el realzado y la definición (Ibid., p. 161). Finalmente exponía su tesis central: "What I wish to argue is that, *relative to the photograph*, the diagram is an *eidetic* image and not merely a simplified image" (Ibid., p. 162).

Digamos que esta "imagen eidética" de la que habla Lynch se corresponde relativamente bien con los modelos teóricos de Giere. Es cierto que Giere habla siempre de modelos teóricos, y no de los soportes materiales de las representaciones: la similitud se da entre dichos modelos abstractos y parcelas del mundo real, sin que, por otra parte, Giere fije criterio general para afirmar que dos entidades son similares entre sí. Sin embargo, esos modelos teóricos sólo pueden ser especificados mediante las representaciones concretas usadas en la práctica, que son las que delimitan las propiedades pertinentes y las irrelevantes. Dicho de otra manera, aunque la similaridad postulada por Giere se de entre los modelos y el mundo real, esos modelos abstractos sólo son definibles en base a las representaciones materiales efectivamente utilizadas, y por ello esas representaciones también han de ser similares a los modelos, y por ende a las parcelas del mundo real, por ser transitiva la relación de similaridad.

En el ejemplo analizado por Lynch, lo que nos interesa es subrayar que el modelo abstracto no es definido por sus ítems o características partiendo del ribosoma mismo, sino de su fotografía, y luego de su esquema, que de por sí son representaciones de un sistema real, y no dicho sistema. Los científicos siempre trabajan con representaciones (y con representaciones de representaciones), cada una de las cuales implica una intervención transformadora del objeto estudiado[14]. Esas transformaciones previas son indispensables para definir el modelo teórico correspondiente. Esto resulta particularmente importante para los objetivos de este artículo, porque asume como punto de partida para el análisis filosófico que los científicos siempre construyen representaciones que se refieren a representaciones previas: en el caso límite a representaciones sensoriales. Contrariamente a Giere, no se trata de investigar las relaciones entre las representaciones y el mundo, sino las relaciones entre unas representaciones (sensoriales, lingüísticas, etc.) y otras (matemáticas, informáticas, etc.). Presuponer una relación de analogía entre nuestras representaciones y el mundo, aunque se trate de una analogía parcial y gradual, supone prescindir de las numerosas simplificaciones, especificaciones y adiciones que se producen durante la elaboración de las diversas representaciones científicas del objeto estudiado. En último término, supone partir de una ontología realista, sin confrontarla con los procesos de construcción y transformación de los objetos científicos. Por nuestra parte, no entraremos en este tipo de debates sobre el realismo, sino que, aceptando que lo que sí es real es la práctica científica, entendida como transformación del mundo y de sus representaciones, nos limitaremos a indagar las relaciones entre unas y otras representaciones científicas, con el fin de mostrar que la relación de analogía resulta insuficiente para una teoría representacional que trate de explicar la práctica científica, y no el "mundo" ni la "realidad".

En segundo lugar, hay que recalcar que las transformaciones de las representaciones científicas son de muy diversa índole, y que cada transformación depende de intenciones y fines previamente explicitados por los científicos. Cuando los científicos colorean una imagen, la recomponen, la procesan y particularmente cuando inscriben signos y notaciones sobre ella, lo hacen por motivos precisos, que dependen estrictamente del marco paradigmático en el que actúan como tales científicos. Puesto que, siguiendo a Hacking, aceptamos que representar es intervenir, entonces una teoría de las representaciones científicas ha de tener muy presentes los valores y los objetivos que inspiran dichas intervenciones: en este caso la transformación o elaboración de las fotografías del ribosoma, hasta obtener representaciones más adecuadas para los fines propuestos en la investigación. Las representaciones científicas, antes que nada, han de ser aceptables para los objetivos propuestos y para los standares de valoración propios de cada disciplina y de cada momento histórico.

Dicho de otra manera: las representaciones científicas no sólo están cargadas de teoría, sino que también poseen una carga teleológica, derivada de las tareas para cuya realización han sido elaboradas. Así lo señaló Andy Clark, aunque fuera bajo el desafortunado apelativo de '*principio 007*': "sólo es preciso representar lo que se requiere para un propósito concreto" (Clark 1989, p. 164). Dicho en nuestros propios términos: puesto que representar es actuar, y no sólo conocer analógicamente el mundo, una teoría representacional de la ciencia no puede limitarse a ser una filosofía del conocimiento científico, sino que ha de pasar a ser, además, una filosofía de la actividad científica, incluyendo el análisis de los propósitos y de los objetivos de las acciones representacionales de los científicos, y no sólo de las teorías subyacentes a las representaciones.

En tercer lugar, conviene evitar que la concepción representacional de la ciencia vuelva a caer en el atomismo epistemológico, investigando las representaciones científicas aisladamente. Los científicos construyen series de representaciones, referidas las unas a las otras. A través de esa sucesión el objeto investigado se va conformando, y cada paso en la serie de representaciones tiene sus propios criterios de evaluación: no es lo mismo obtener una buena fotografía de un ribosoma que elaborar un buen diagrama de la misma, o una buena tabla con la distribución estadística de las componentes significativas del diagrama. Además de considerarlas como acciones, y como acciones propositivas (en el sentido de ser llevadas a cabo en base a propósitos precisos), los filósofos de la ciencia han de asumir que la visualización y la representación científica es un proceso, y no un acto único y puntual. Ello implica analizar todos y cada uno de los pasos de dicho proceso, y no sólo el resultado final: la representación o imagen canónica del objeto investigado[15].

Aunque sea desde perspectivas muy diversas, las críticas de Whitby, Lynch, Hacking y Clark ponen claramente en cuestión la tesis de la relación de similaridad entre lo representado y la representación. Hemos visto además que de ellas se desprenden observaciones que deben ser muy tenidas en cuenta por los defensores de la concepción representacional de la ciencia. En lo que sigue asumiremos todas esas críticas, aportando además un nuevo argumento contrario a la construcción de una teoría representacional de la ciencia que esté basada en las relaciones de isomorfismo o de similaridad.

Nuestra crítica principal a las posturas de Giere (y a las de van Fraassen) se basa en *la contraposición entre lo digital y lo analógico.* Cualquier proceso de digitalización de una imagen científica (o de un sonido, o de un texto, o de una base de datos), implica la construcción de un nuevo tipo de representación, que suele quedar expresada en lenguaje-máquina. Las técnicas de digitalización son muy diversas, y en este artículo no entraremos en grandes detalles técnicos, con el fin de que las consideraciones que se van a hacer puedan ser válidas para muchas de esas técnicas de representación y de visualización científica, aunque resulten más pertinentes en algunos casos que en otros. Por eso denominaremos genéricamente *representaciones digitales* a las diversas modalidades de codificación informática de imágenes, fórmulas, datos y textos. Ante todo nos interesa subrayar que dichas representaciones informáticas no han sido construidas para ser vistas o leídas por un ojo humano, sino por un ordenador. Precisamente por ello resultará claro que no hay relación de similaridad (o de isomorfismo) entre lo representado y su representación digital correspondiente. Precisamente porque el lenguaje-máquina no ha sido elaborado para que sus secuencias de signos y de *bits* sean legibles ni interpretables por ningún ojo humano, la representación digital de un objeto científico (datos, imágenes, ecuaciones, etc.), tal y como ésta queda almacenada en la memoria de un ordenador, no tiene ninguna relación de similaridad con dicho objeto. Ello no obsta para que, ulteriormente, el ordenador sea capaz de ofrecernos un *display* del objeto que sea apto para las capacidades perceptivas del ser humano, y por ende similar o incluso isomórfico a lo representado[16]. El análisis y la síntesis digital de imágenes y signos permite construir representaciones informáticas finales que son parcialmente similares a las imágenes-objeto iniciales; pero la relación de similaridad desaparece en los pasos intermedios, como veremos.

La representación digital propiamente dicha no es la que aparece en pantalla, sino la que queda codificada, comprimida y almacenada en la memoria del ordenador. Si llamamos O al objeto a representar, R a la representación en pantalla y R' a la representación digital antes mencionada, veremos a continuación que R' no es semejante a O ni a R, por mucho que O y R puedan ser semejantes entre sí. Puesto que las visualizaciones científicas R_i sólo pueden ser construidas en base a la construcción previa de las representaciones R'_i, la relación de similaridad resulta insuficiente para analizar adecuadamente las representaciones informáticas del conocimiento científico. Cuando un físico clásico representaba el movimiento de un cuerpo por medio de una gráfica, se presuponía una similaridad (e incluso un isomorfismo) entre el movimiento efectivo y la gráfica que lo representaba. En el fondo, estábamos ante un buen ejemplo de "lenguaje pictórico", que trataba de representar las cosas tal y como éstas aparecen ante nuestros sentidos. En el caso de las representaciones informáticas actuales, no hay tal analogía, sino digitalización, y por eso debemos de fundamentar la teoría representacional de la ciencia en algún tipo de relación más general que las de isomorfía o similaridad[17].

En una palabra: un argumento importante contra toda teoría de las representaciones científicas basada en la relación de analogía depende de la distinción misma analógico/digital, que ha de ser tenida muy en cuenta por los filósofos de la ciencia, al menos si se ocupan de analizar los procesos de visualización científica. La historia de la ciencia proporciona múltiples ejemplos de representaciones basadas en las relaciones de analogía y similaridad (las figuras geométricas griegas, las gráficas del movimiento en el siglo XVII, las notaciones químicas, etc.), pero ello no debe llevarnos a pensar que los científicos sólo recurren a ese tipo de representaciones[18]. La informática y la visualización científica, hoy en día imprescindibles para investigar, enseñar y aplicar la ciencia, proporcionan un amplio espectro de representaciones digitales que no están basadas en las relaciones de analogía o similaridad con lo representado. Ello se debe a que los procesos de transformación de las representaciones que tienen lugar en el ámbito informático dependen de algoritmos que no siempre preservan las relaciones métricas o algebraicas en las que están basadas las nociones de similaridad y de isomorfismo.

Podría objetarse que entre la representación decimal de los números (1, 2, 3, 4, 5, etc.) y su representación binaria (1, 10, 11, 100, 101, etc.) existe un isomorfismo aritmético, y por tanto también una relación de similaridad. Sin embargo, esto equivale a comparar el objeto inicial (el número natural en representación decimal) y su representación final (ese mismo número en representación digital), prescindiendo de las representaciones intermedias, y por lo tanto del proceso de representación. La codificación en lenguaje-máquina de los números (y con mayor motivo la de las imágenes o signos científicos) resulta mucho más compleja que su simple expresión final en sistema binario. En el caso de las imágenes, hay un muestreo previo, que selecciona los aspectos relevantes a representar. Luego interviene un convertidor analógico/digital de imagen, que tiene una capacidad de análisis y de síntesis concreta, determinada por el número de *bits* de su procesador. Dicho convertidor define umbrales de intensidad, por debajo de los cuales se atribuye el nivel cero (negro) y por encima de los cuales se asigna el valor 1 (blanco). Una vez binarizada una imagen, y tras una fase de preprocesamiento, en la que se eliminan ruidos que hayan podido ser inducidos por el convertidor, las partes relevantes de la representación digital son segmentadas. A continuación, los algoritmos *RSI* analizan diversas propiedades geométricas (o de otro tipo) de la imagen y de sus partes, que luego serán utilizadas para comparar y reconocer formas. Los métodos de proceso de imágenes tienen una gran potencia precisamente porque, una vez analizada y digitalizada una imagen es posible alterar los parámetros, generando transformaciones (simulaciones) que pueden ser comparadas rápidamente con los datos observacionales. En cuanto a la fase siguiente, la de almacenamiento de dichas representaciones digitales en la memoria del ordenador, hay que resaltar que nunca se almacenan las secuencias de dígitos que representan la imagen, sino alguna propiedad o característica que permita reconstruirla fácilmente mediante algún algoritmo[19]. En resumen: las representaciones de los objetos científicos, tal y como quedan almacenadas en el ordenador, en nada se parecen a la secuencia de dígitos que constituye la representación isomorfa antes mencionada. Entre la imagen analógica a digitalizar, la imagen digitalizada y su modo de ser almacenada en memoria existen toda una serie de transformaciones que modifican radicalmente la estructura de las sucesivas representaciones, sin perjuicio de que luego podamos regenerar y sintetizar unas representaciones análogas a las anteriores, invirtiendo el proceso por medio de los algoritmos recíprocos. Tampoco hay que olvidar las técnicas de compresión de la información, determinadas por la necesidad de ahorrar memoria: estas últimas técnicas, así como algunas de las modificaciones anteriores, son comparables a las transformaciones topológicas que deforman las representaciones, con la peculiaridad de que estas deformaciones no siempre son continuas, como en la topología clásica, sino que recurren también a topologías discretas.

Resulta una pretensión vana tratar de pensar todos estos procesos en términos de analogía o de isomorfismo. En cambio, la noción topológica de homeomorfismo puede resultar mucho más adecuada, precisamente porque permite analizar las profundas "deformaciones" que sufren las representaciones científicas en el proceso de digitalización y almacenamiento. Por ello es por lo que, alternativamente a las nociones de isomorfismo y de similaridad, aquí se parte de las transformaciones difeomórficas para el análisis y la reconstrucción de los procesos de construcción de representaciones científicas informatizadas.

Antes de hacer unas primeras propuestas para aplicar dicha noción a la reconstrucción formal de los procesos de visualización científica (y en general de representación), conviene comentar algunas propuestas recientes en filosofía de la ciencia, que mejoran claramente las ideas de van Fraassen y de Giere en lo que respecta a la elaboración de una teoría representacional de la ciencia. En el último apartado volveremos sobre la noción de homeomorfismo y su posible aplicación a la concepción representacional en filosofía de la ciencia.

4. Geometría y topología de las representaciones científicas

En un reciente artículo (Ibarra, Mormann 1997), Andoni Ibarra y Thomas Mormann han hecho propuestas de interés para la concepción representacional de la ciencia. Tras reafirmarse en tesis que ya habían enunciado con anterioridad y considerar que las teorías científicas son representaciones (Ibid., p. 66), entendiendo la noción de representación en el sentido matemático del término, Ibarra y Mormann dan un paso más en este artículo, al sostener que "the theories of empirical science can be conceived of as geometrical representations in a generalized sense" (Ibid.). Las representaciones geométricas clásicas (por ejemplo la representación cartesiana de las figuras geométricas griegas por medio de ecuaciones) no son simples modos de presentar una teoría, sino que inciden en y modifican la ontología de la teoría estudiada (Ibid.). Aunque la noción de ontología que ambos autores utilizan no queda perfectamente clara, esta tesis resulta totalmente aceptable desde la perspectiva indicada en el apartado anterior, cuando insistíamos siguiendo a Hacking que representar es intervenir y modificar lo representado, es decir: *representar es algo más que presentar: es modificar lo presentado.* Asimismo hay que destacar que Ibarra y Mormann hacen una interpretación de la noción de representación estrechamente vinculada a la teoría peirceana del signo, con lo que también recogen una de las críticas anteriormente señaladas a las relaciones de isomorfía y de similaridad. Por otra parte, cuando distinguen entre datos y representaciones, tienen buen cuidado en precisar a pie de página que esa distinción es relativa, y que las representaciones pueden ser tomadas como datos, con lo cual hay un nuevo punto de coincidencia con las críticas expuestas en el apartado anterior.

Pero la propuesta principal de Ibarra y Mormann consiste en geometrizar la concepción representacional de las teorías, y por eso nos centraremos en ella, en la medida en que ofrece puntos comunes (y también diferencias) con nuestra propuesta de sustituir las relaciones de isomorfismo y similaridad por los homeomorfismos de la topología general. Dicho en sus propios términos:

> THESIS 3.1: Theoretical representations *f*: *D* 0 *C* (en donde *D* es un campo de datos y *C* un campo de constructos simbólicos) are geometrical representations in the sense that the representing domain *C* may be conceived of as a (generalized) *geometrical space* (Ibid., p. 72).

Para argumentar en favor de esta tesis, ambos autores comparan las ontologías y las epistemologías subyacentes a las obras de Oresmes y Galileo, mostrando que las diferentes representaciones usadas por uno y otro conllevan cambios ontológicos y epistemológicos importantes. Su argumentación resulta convincente y su conclusión es clara: "the structure of the representing geometrical realms controls the structure of the represented realm of physical phenomena" (Ibid., p. 76). Esto concuerda bien con nuestra afirmación anterior: las representaciones de los objetos científicos no sólo no son inocuas, sino que modifican dichos objetos desde el punto de vista epistemológico.

Tras haber analizado este ejemplo histórico, Ibarra y Mormann acometen la tarea de proponer una teoría general para la geometrización de los aspectos representacionales de las teorías científicas, recurriendo para ello a la noción de espacio de estados (ya usada por van Fraassen), cuya estructura geométrica (generalizada) desvelan. Los estados posibles de un sistema *S* dependen de una teoría *T*, y por eso son denominados $\Sigma(S, T)$. Al distinguir entre estados posibles e imposibles del sistema *S*, relativamente a la teoría *T*, se introduce una componente modal en el análisis de las teorías que, a juicio de estos autores, puede ser considerada como una realización geométrica de las leyes de la teoría (Ibid., p. 78). Siendo ambos autores buenos conocedores de la concepción estructural en filosofía de la ciencia, no cabe duda de que esa distinción retoma de alguna manera la distinción sneediana entre modelos potenciales y modelos efectivos de una teoría. La peculiaridad consiste en que, al analizar las teorías mediante espacios de estados, y no simplemente mediante teoría de conjuntos,

> $\Sigma(S,T)$ is not simply a set but rather an space, i.e., a set endowed with some geometric structure; this structure is used to differentiate between really possible and really impossible states of the system. (Ibid., p. 80)

La propuesta de Ibarra y Mormann tiene un interés indudable, sobre todo porque permite representar las modificaciones de los estados de un sistema a lo largo del tiempo, lo cual resulta mucho más difícil de hacer mediante un análisis teórico-conjuntista de las teorías, como los propios autores subrayan. Las modificaciones posibles de los estados de un sistema y las ligaduras (*constraints*) que hacen unos caminos admisibles y otros no, pueden ahora ser analizadas mediante conceptos geométricos tales como los de campos de vectores, formas diferenciales y formas tensoriales (Ibid., p. 81).

A nuestro modo de ver, conviene matizar esta propuesta, introduciendo una mejora: considerar espacios topológicos, y no sólo espacios geométricos generalizados. Procediendo así, el análisis de las representaciones científicas adquiere mayor generalidad, al permitir el estudio de transformaciones discretas de las representaciones científicas (o de los sistemas subyacentes a ellas), y no sólo de transformaciones continuas. Ibarra y Mormann sólo ponen ejemplos extraídos de la física (mecánica, termodinámica): si la concepción representacional de las teorías pretende ser aplicable a los procesos de visualización científica en general, y no sólo a la construcción de gráficas en la geometría o en el análisis matemático clásico, entonces resulta imprescindible incluir el estudio de las transformaciones discretas de los espacios de estados, por seguir utilizando la terminología de Ibarra y Mormann.

Se trata de una posibilidad que ellos mismos parecen admitir, aunque sea implícitamente. A la hora de analizar el principio clásico "*natura non facit saltus*", Ibarra y Mormann afirman que la ligadura o constricción introducida por ese principio no es otra que la de la continuidad de los caminos posibles para los cambios de estado, constricción que los propios autores analizan en el marco de un espacio topológico, y no sólo de un espacio geométrico:

> Mathematically, this claim involves the topological structure of the state space $\Sigma(S,T)$ as follows: a path $\Phi: I \rightarrow \Sigma(S,T)$ is continuous iff for any open set O of $\Sigma(S,T)$ $\Phi^{-1}(O)$ is an open subset of the interval I. If we consider the topological structure of $\Sigma(S,T)$ as a variable, one can bing it about by defining an appropiate topological structure with few open sets so that just any path is rendered continuous. Hence, the topological structure of $\Sigma(S,T)$ may be considered as a (rather coarse) constraint on the admissible, i.e. lawful paths of the theory that takes $\Sigma(S,T)$ as its state space (Ibid.).

Como puede verse, los propios Ibarra y Mormann recurren sin dudar a espacios topológicos (y no sólo a espacios geométricos) a la hora de analizar la ligadura o constricción derivada del principio clásico de continuidad de la naturaleza. Puesto que nuestro punto de referencia no son las representaciones que se usan en Física, sino en Informática, y puesto que en esta ciencia no vale dicho principio, porque tanto se ocupa de fenómenos continuos como de fenómenos discretos, podemos concluir en la conveniencia de usar la noción de espacio topológico, y no sólo la de espacio geométrico para el análisis de las representaciones científicas. Si hace falta, estaríamos dispuestos incluso a afirmar el principio "*technica facit saltus*" y aplicarlo a la informática, con el fin de que resulte clara la conveniencia de recurrir a nociones topológicas para analizar las representaciones informáticas y digitales a las que nos referimos en el apartado anterior, así como sus transformaciones a lo largo del proceso de construcción de dichas representaciones, que sería el equivalente a los caminos de espacios de estados utilizados por Ibarra y Mormann. En el fondo, las ulteriores aplicaciones de conceptos geométricos que proponen ambos autores pueden ser reemplazadas por conceptos similares procedentes de la topología algebraica, por lo que sus aportaciones no se pierden al recurrir a la topología en lugar de la geometría. No hay que olvidar que todo espacio geométrico presupone una estructura topológica, por lo que la noción de espacio topológico es más amplia que la de espacio geométrico. En cambio, la geometría resulta insuficiente para analizar las transformaciones de las representaciones digitales, como en el apartado anterior tratamos de mostrar.

Habría otros muchos comentarios a hacer al interesante artículo de Ibarra y Mormann, pero las consideraciones precedentes pueden bastar por ahora. Volviendo a nuestra línea principal de argumentación, queda claro que la concepción representacional de la ciencia puede recurrir a instrumentos de análisis más precisos que la teoría de conjuntos de la concepción estructural, y más generales que las nociones de isomorfismo y de similaridad propuestas por van Fraassen y por Giere. En algunos casos bastará con la geometrización propuesta por Ibarra y Mormann: pero cuando estudiemos otras representaciones científicas, en particular las que no dependen de una variable temporal continua, será aconsejable recurrir a diversas estructuras y conceptos topológicos, y en particular a la noción de homeomorfismo. Para terminar, dedicaremos un breve apartado en este sentido.

5. Homeomorfismos entre representaciones científicas

Desde el punto de vista de la geometría un círculo y un cuadrado no son figuras equivalentes: desde el punto de vista de la topología sí, porque existe un homeomorfismo entre dichas representaciones geométricas. Las relaciones geométricas de equivalencia presuponen métricas equivalentes en los espacios correspondientes, mientras que los homeomorfismos pueden existir aunque las relaciones de distancia en uno y otro espacio sean heterogéneas. Dicho en términos más generales: cuando existe un homeomorfismo entre dos espacios topológicos, ese homeomorfismo puede modificar las relaciones métricas respectivas, pero sin embargo preserva otro tipo de estructuras y por ello posibilita un análisis más profundo de las relaciones entre representaciones desemejantes. Veamos brevemente de qué manera se aplican estas consideraciones a las representaciones informáticas.

Dado un conjunto X, una topología en dicho conjunto es una familia $\mathcal{T}$ de subconjuntos (denominados abiertos) que satisface las tres condiciones siguientes: $\mathcal{T}$

(a) El conjunto X y el conjunto vacío pertenecen a la familia $\mathcal{T}$.
(b) La intersección de dos miembros cualesquiera de $\mathcal{T}$ es un miembro de $\mathcal{T}$.
(c) La unión de los miembros de cualquier subfamilia de $\mathcal{T}$ (finita o infinita) es miembro de $\mathcal{T}$.

La estructura topológica más estudiada es la del conjunto R de los números reales, pero existen otros tipos de topologías, muy diferentes a la del continuo. Cuando $\mathcal{T} = \{X, \emptyset\}$ estamos ante la topología trivial o indiscreta; cuando $\mathcal{T} = \mathcal{P}(X)$ se trata de la topología discreta, en la que toda parte de X es un conjunto abierto. Entre estas dos topologías extremas, que pueden ser definidas sobre cualquier conjunto, existen otras muchas intermedias, que son las que tienen particular interés en matemáticas. La topología usual de los números reales es la familia de todos aquellos conjuntos que contienen un intervalo abierto alrededor de cada uno de sus puntos. En general, se dice que un conjunto U de un espacio topológico $(X, \mathcal{T})$ es un entorno de un punto $x \in X$ sii U contiene un conjunto abierto al cual pertenece x. Las relaciones de vecindad y de proximidad presuponen la existencia de una estructura topológica.

Para definir una topología en un conjunto X basta con elegir una base $\mathcal{B}$ para dicha topología, de acuerdo con las condiciones siguientes:

$\mathcal{B}$ es una base de una topología $\mathcal{T}$ sii es una subfamilia de $\mathcal{T}$ y para cada punto $x \in X$ y cada entorno U de x hay un $V \in \mathcal{B}$ tal que $x \in V$ y $U \supset V$. La familia de los intervalos abiertos de R, por ejemplo, es una base de la topología usual de R. Para saber si una familia es o no una base de la topología $\mathcal{T}$, basta con considerar esta condición necesaria y suficiente: una subfamilia $\mathcal{B}$ de una topología $\mathcal{T}$ es una base de $\mathcal{T}$ sii cada miembro de $\mathcal{T}$ es una unión de miembros de $\mathcal{B}$.

Veamos dos definiciones más[20], antes de volver a nuestro tema.

Dados dos espacios topológicos $(X, \mathcal{T})$ e $(Y, \mathcal{U})$, una función $f: X \rightarrow Y$ es continua sii la imagen inversa de cada conjunto abierto es abierta. Además, f es un *homeomorfismo* o transformación topológica entre ambos espacios sii f es una función biunívoca continua y f^{-1} también es una función continua. Dos espacios son topológicamente equivalentes sii son homeomorfos. Si un espacio topológico posee una determinada propiedad (ser conexo, completo, etc.), sus espacios topológicos homeomorfos también poseen esa propiedad (Ibid., p. 104 y 106). Así pues, la relación de homeomorfismo es conservadora de estructuras, con la peculiaridad de que dichas estructuras son más generales que las relaciones geométricas. Dos espacios topológicos con métricas diferentes (como en general lo son las representaciones informáticas con respecto a sus objetos representados) pueden ser homeomorfos. Este es el motivo por el que la relación de homeomorfismo nos parece preferible a cualquiera de las relaciones anteriormente consideradas.

Veamos por qué, centrándonos en las imágenes visualizadas mediante ordenadores, que son las que plantean mayores problemas entre todas las visualizaciones informáticas.

Como es sabido, la digitalización está basada en unidades de información (*binary digits*, *bits*), a las que consideraremos como los puntos del espacio topológico que posibilita la existencia de representaciones digitales. Las unidades representacionales de la pantalla son los *pixels (picture elements)*: en el caso de imágenes monócromas, cada *pixel* incluye un *bit*, por lo que hay una correspondencia biunívoca entre los puntos del espacio topológico digitalizado y los puntos del espacio topológico de la pantalla, en el cual se construyen las representaciones informáticas visibles. En el caso de imágenes polícromas, pueden asignarse, por ejemplo, tres *bits* a cada *pixel* (rojo, verde y azul) cuyas ocho combinaciones generan los matices cromáticos, o seis bits por pixel, que posibilitan la construcción de imágenes con sesenta y cuatro colores diferentes.

Lo interesante es el modo de localizar cada pixel dentro de una pantalla, con el fin de asignarle luego el matiz cromático (o de gris) correspondiente. Para ello se recurre a un sistema de coordenadas cartesianas cuyo origen está en el extremo izquierdo superior de la pantalla, y que está compuesto por un reticulado de cuadrados que subyace a cada pantalla de ordenador. Si ésta tiene, por ejemplo, 525 líneas, y en cada línea incluimos 525 *pixels*, el reticulado posee 525x525 cuadrículas. Es claro que, si el procesador de imágenes utiliza tres colores, una simple imagen puede incluir 8x525x525 unidades de información pictórica, es decir 2.205.000 *bits*. Con el fin de contrastar mejor nuestro planteamiento con el anteriormente mencionado de Ibarra y Mormann, podemos considerar que esos dos millones de *bits* definen un "estado" del sistema digital subyacente a la pantalla. Dicho estado interno del ordenador queda representado en pantalla mediante una imagen, cuyas relaciones con el objeto representado hay que investigar. Lo importante es señalar que:

(a) Ese estado determina algorítmicamente una determinada configuración dentro del espacio topológico de la pantalla, o si se prefiere, un abierto generado por la correspondiente base de la topología. Dicha base está constituida por el conjunto de cuadrículas que forman parte del reticulado cartesiano antes mencionado.

(b) Los cambios de estado no son continuos en un sentido físico (no dependen necesariamente de la variable tiempo), sino que se obtienen por variación de los *bits* asignados a cada uno de los 525x525 pixels de la pantalla, y por tanto por operaciones discretas. Ello no obsta para que, si así nos conviene, podamos elegir una topología adecuada, con el fin de que dichos cambios de imagen (o de estado) sean funciones continuas en el sentido topológico del término.

Como puede verse, nuestro planteamiento retoma varios de los puntos esenciales propugnados por Ibarra y Mormann, pero introduce novedades dignas de consideración, debido a que, desde el principio, se considera que las representaciones informáticas están inmersas en un espacio topológico, que posibilita la existencia de los *displays* en pantalla. La distancia que se elija entre los *pixels* será determinante para las diversas representaciones que pueden aparecer en pantalla. La novedad estriba en que, en el caso de las representaciones informáticas, podemos definir diferentes tipos de distancias entre los *pixels*, en función de los diversos problemas que queramos resolver. Una de ellas es la distancia clásica (euclídea) entre puntos del plano, pero no es la única. La gran ventaja de las representaciones informáticas se basa en la posibilidad de introducir fácilmente distintas métricas (y distintas topologías) en el espacio representacional en donde aparecen las visualizaciones científicas.

De acuerdo con lo anterior, dos representaciones pueden ser topológicamente equivalentes (homeomorfas) sin que sean semejantes, isomorfas ni geométricamente equivalentes: las representaciones fractales son un excelente ejemplo de ello. En la medida en que los algoritmos de transformación de imágenes sean homeomorfismos, las posibilidades de generar representaciones parcial o aproximadamente equivalentes son mucho mayores que en las teorías de la representación antes comentadas. Podemos concluir así que los homeomorfismos se presentan como una alternativa digna de ser considerada a la hora de elaborar una teoría de las representaciones que tenga en cuenta las visualizaciones científicas informáticas. Cuanto se ha dicho anteriormente respecto de las representaciones planas (y en pantallas de 525x525 líneas, formato americano) puede ampliarse sin ningún tipo de problemas a representaciones tridimensionales, así como a pantallas de cualquier número de *pixels*.

Esta manera de afrontar el problema de las representaciones científicas y de su equivalencia es válida para las diversas visualizaciones informáticas actualmente en uso. A diferencia de otros modos de plantear una teoría representacional, como la de Ibarra y Mormann, cuyo objetivo principal consiste en concebir las teorías científicas como representaciones, aquí no nos interesa tanto la concepción representacional de las teorías sino el análisis (topológico) de los procesos de construcción de representaciones, tal y como éstos se producen en las diversas técnicas de visualización científica. Cada teoría, ciertamente, genera sus propias representaciones canónicas de los objetos estudiados, por lo que no hay duda de que dichas representaciones son dependientes de las teorías en que son usadas. Sin embargo, aparte del problema de la dependencia teórica, en el que nosotros no insistimos, existe un problema previo: el de la construcción efectiva de series de representaciones referentes a un objeto o problema determinado. Las técnicas de visualización se refieren a esta última cuestión y, como hemos visto, pueden ser analizadas mejor si presuponemos la existencia de espacios topológicos y de homeomorfismos entre las diversas representaciones de la serie.

Las propuestas realizadas a lo largo de este artículo requieren desarrollos y perfeccionamientos ulteriores. Aquí nos hemos limitado a proponer una modificación que consideramos prometedora en relación a las concepciones vigentes en filosofía de la ciencia sobre las representaciones científicas. Sobre todo, hemos procurado que el marco conceptual en el que se mueve nuestra propuesta pueda ser lo suficientemente amplio como para que quepan dentro de él los procedimientos y técnicas de visualización científica, tal y como éstos se han ido configurando en los últimos años.

De poco sirve una filosofía de la ciencia que deje de lado la práctica efectiva de la ciencia contemporánea. Y una de las grandes novedades de nuestra época consiste en la aparición y difusión por todas las ciencias de un nuevo sistema de representaciones, basado en técnicas informáticas. Para analizar dicha práctica es preciso recurrir, a nuestro modo de ver, a la topología, y más en concreto a la noción de homeomorfismo. En trabajos ulteriores intentaremos aplicar todas estas propuestas a ejemplos concretos de la práctica científica actual.

Notas

† Esta contribución ha sido elaborada en el marco de un proyecto de investigación (PB95-0125-C06-01) financiado por la Dirección de Enseñanza Universitaria, sobre el tema "Ciencia y Valores. Valores, objetivos y práctica científica". Agradezco al Ministerio de Educación y Ciencia el apoyo financiero recibido para el desarrollo de dicho Proyecto.

1 Esta denominación (*Scientific Visualization*) fue propuesta por la *National Science Foundation* en su informe de 1987, *Visualization in Scientific Computing*, publicado por McCormick, Defanti y Brown en la revista *Computer Graphics*.

2 Este enfoque representacional ha sido defendido por A.I. Goldman (1986), B. Mundy (1986 y 1989), C. Swoyer (1991), P. Churchland (1992), y A. Ibarra y T. Mormann (1994 y 1997), entre otros.

3 Ver Shanon (1991) e Ishiguro (1994).

4 Para la distinción entre estos contextos, ver J. Echeverría 1995a y 1995b, cap 3.

5 Ver Peterson (1996).

6 Bas van Fraassen (1980). Existe traducción española de Sergio Martínez: 1996, *La Imagen Científica*, México, Paidós, y a ella se referirán las citas de esta obra. Ver también P.M. Churchland y C.A. Hooker (eds.) (1985), que incluye la réplica de van Fraassen a sus críticos, 'Empiricism in the Philosophy of Science', 245-308.

7 "There is no direct relationship between sets of statements and the real world; the relationship is indirect through the intermediary of a theoretical model" (Ibid.).

8 *A population of models*, como dice Giere; los estructuralistas prefieren hablar de clases de aplicaciones paradigmáticas, con sus modelos efectivos. Véase Moulines 1982, p. 85.

9 "We understand a theory as comprising two elements: (1) a population of models, and (2) various hypotheses linking those models with systems in the real world" (Ibid., p. 85).

10 No en vano dejó escrito que "a 'theory of truth' is not a prerequisite for an adequate theory of science" (Ibid., p. 81).

11 Véase J. Echeverría (1987) para un desarrollo más amplio en torno a la semiótica de la ciencia, en el que se englobaría lo que aquí se afirma respecto a las representaciones científicas.

12 Lynch, M.: 'The Externalized Retina: Selection and Mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences', in Lynch & Woolgar (eds.), *o.c.*, 152-186.

13 Ver I. Hacking (1983).

14 El origen de esta tesis hay que buscarlo en Leibniz, para quien "si no hubiera caracteres nunca pensaríamos con distinción ni seríamos capaces de razonamiento" (Dialogus de 1677, in Leibniz, *Antología*, 1997, p. 51).

15 Véase la obra de W.E. Herfel, W. Krajewski, I. Niiniluoto y R. Wójcicki (eds.): 1995, *Theories and Models in Scientific Processes*, que contiene varias contribuciones en las que se insiste en este carácter procesual de la actividad científica, frente a las reconstrucciones estáticas de la concepción heredada. La construcción de representaciones también debe ser considerada como un proceso a analizar, y no como una caja negra en la que sólo interesa el *input* (las observaciones) y el *output* (las representaciones finales del objeto estudiado).

16 Como puede verse, subyace la tesis de que la semejanza entre las representaciones y lo representado existe porque hay un proceso intencional de adaptación de las representaciones científicas a las capacidades perceptivas del ser humano, que se manifiesta ante todo en los pasos finales del proceso de construcción de representaciones. Pero en las fases intermedias, se utilizan formas de representación que son muy disimilares a las representaciones que finalmente saldrán en pantalla.

17 No entramos aquí en el debate sobre si la mente funciona analógicamente o no. En cualquier caso, es claro que los modelos conexionistas rompen con la relación de semejanza en lo que se refiere a las representaciones mentales internas.

18 Véase al respecto el volumen colectivo *L'image et la science* (1992), en el que se incluyen interesantes estudios históricos sobre representaciones científicas (de la Tierra, de los seres vivos, de la arqueología, de la sociología de poblaciones, de la cartografía, etc.).

19 Entre la abundante bibliografía sobre las diversas técnicas de construcción de representaciones digitales, puede verse la obra de J.M. Angulo y R. Iñigo Madrigal, *Visión artificial por computador* (1986), en la que se describen más ampliamente las fases del proceso de construcción de dichas representaciones informáticas.

20 Todas estas definiciones han sido extraídas del libro de John L. Kelley: *Topología General*, Buenos Aires, Eudeba, pp. 50-51 y 59.

BIBLIOGRAFIA

Angulo, J.M. y Madrigal, R.I.: 1986, *Visión artificial por computador*, Madrid, Paraninfo.
Balzer, W. y Moulines, C.U. (eds.): 1996, *Structuralist Theory of Science*, Berlin, De Gruyter.
Balzer, W., Moulines, C.U. and Sneed, J. (eds.): 1987, *An Architectonic for Science*, Dordrecht, Reidel.
Churchland, P.M.: 1992, *A Neurocomputational Perspective*, Cambridge, MA, MIT Press.
Churchland, P.M. y Hooker, C.A. (eds.): 1985, *Images of Science*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
Clark, A.: 1989, *Microcognition*, London, MIT Press.
Clark, A. y Toribio, J.: 1994, 'Doing without Representing', *Synthese* 101, 401-431.
Echeverría, J.: 1987, *Análisis de la Identidad*, Barcelona, Granica.
Echeverría, J.: 1995a, 'The Four Contexts of Scientific Activity', in W.E. Herfel *et alia* (eds.) (1995), 151-167.
Echeverría, J.: 1995b, *Filosofía de la Ciencia*, Madrid, Akal.
Foley, J.D., van Dam, A., Feiner, S.K. y Hughes, J.F. (eds.): 1991, *Computer Graphics. Principles and Practice*, Reading, Mass., Addison-Wexley.
Giere, R.: 1988, *Explaining Science*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
Goldmann, A.I.: 1980, *Epistemology and Cognition*, Cambridge, Harvard Univ. Press.
Hacking, I.: 1983, *Representing and Intervening*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
Herfel, W.E., Krajewski, W., Niiniluoto, I. and Wójcicki, R. (eds.): 1995, *Theories and Models in Scientific Processes*, Amsterdam, Rodopi.
Ibarra, A. y Mormann, T.: 1994, '¿Simetrías versus leyes? Apostilla a van Fraassen sobre la representación', *Pensamiento* 50, 383-406.
Ibarra, A. y Mormann, T.: 1997, 'Theories as Representations', *Poznan Studies in the Philosophy of the Sciences and the Humanities*, 61, 59-97.
L'image et la science, Paris, C.T.H.S, 1992.
An Introduction to Computer Graphics Concepts, Reading, Mass., Addison-Wexley, Sun Microsystems, 1991.
Ishiguro, H.: 1994, 'On Representations', *European Journal of Philosophy* 2 (2), 109-124.
Kelley, J. L.: 1962, *Topología general*, Buenos Aires, Eudeba.
Leibniz, G.W.: 1997, *Antología*, Barcelona, Círculo de Lectores.
Lynch, M. y Woolgar, S. (eds.): 1990, *Representations in Scientific Practice*, Cambridge, Mass., MIT Press.
Mundy, B.: 1986, 'On the General Theory of Meaningful Representation', *Synthese* 67, 391-437.
Mundy, B.: 1989, 'On Quantitative Relationalist Theories', *Philosophy of Science* 56, 582-600.
Nielson, G.M. y Shriver, B. (eds.): 1990, *Visualization in Scientific Computing*, Los Alamitos, Cal., IEEE Computer Society Press.
Peterson, D. (ed.): 1996, *Forms of Representation*, Exeter, Intellect Books.
Rouse, J.: 1996, *Engaging Science*, Ithaca and London, Cornell.
Shanon, B.: 1991, 'Representations: senses and reasons', *Philosophical Psychology* 4 (3), 355-374.
Shanon, B.: 1993, *The Representational and the Presentational*, Hemel Hempstead, Harverster.
Swoyer, C.: 1991, 'Structural Representations and Surrogative Reasoning', *Synthese* 87, 449-508.
van Fraassen, B.C.: 1980, *The Scientific Image*, Oxford, Blackwell, trad. castellana en *La imagen científica*, México, UNAM, 1996.

van Fraassen, B.C.: 1989, *Laws and Symmetry*, Oxford, Blackwell.
Whitby, B.: 1996, 'Multiple Knowledge Representations: Maps and Aeronautical Navigation', in D. Peterson (ed.) (1996), 67-78.

Javier Echeverría es Profesor de Investigación de Ciencia, Tecnología, Filosofía y Sociedad en el Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en Madrid. Desde 1993 es Presidente de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia en España. Entre otros libros, ha publicado las obras *Análisis de la Identidad* (Granica, 1986), *Introducción a la Metodología de la Ciencia* (Barcanova, 1989) y *Filosofía de la Ciencia* (Akal, 1995).