

## **La lógica de las imágenes: retórica y argumentación en las prácticas científicas representacionales**

**Eduardo Zubia**

### **Resumen**

*Nuestro objetivo es identificar buenas prácticas en el uso de las imágenes científicas, basándonos sobre todo en artículos aparecidos recientemente en la revista *The Astrophysical Journal*. Una buena práctica dependerá ciertamente de la metodología explícita seguida en la elaboración de la imagen publicada, pero sostenemos que también requiere contrastar el papel epistémico que dicha imagen juega en la argumentación, o en la retórica, del artículo del que forma parte. Con este fin, proponemos identificar cuatro campos epistémicos diferenciados en cuanto a la producción de imágenes científicas: (1) las imágenes fenomenológicas, próximas a las prácticas observacionales, (2) las imágenes heurísticas, asociadas al análisis estadístico de datos empíricos, (3) las imágenes modelizadas, procedentes de simulaciones numéricas, y (4) las imágenes analíticas, derivadas del campo teórico. La clara identificación del alcance epistémico de cada tipo de imagen permite establecer un diálogo interdisciplinar entre las distintas culturas científicas en torno a un vocabulario común. Pensamos que este análisis epistemológico puede extenderse a otras ciencias naturales además de la astrofísica.*

### **Abstract**

*Our aim is to identify good practices in the use of scientific images, examining primarily articles recently appeared in *The Astrophysical Journal*. Good practice will certainly depend on the explicit methodology employed in the elaboration of a published image, but we claim that it also requires an assessment of the epistemic role played by the image in the argumentation, or in the rhetoric, of the article of which it is part. To fulfil this task, we propose to identify four distinct epistemic fields involving the production of scientific images: (1) phenomenological images, close to the observational practices, (2) heuristic images, associated with the statistical analysis of empirical data, (3) modelled images, coming from numerical simulations, and (4) analytic images, derived from the theoretical realm. The clear identification of the epistemic scope for each image type facilitates a dialogue between different scientific cultures around a common vocabulary. We think that this epistemological analysis can be extended to other natural sciences besides astrophysics.*

### **Introducción – el papel de la imagen científica**

En este trabajo nos interesamos por las imágenes que aparecen en las publicaciones científicas, en particular en el área de la astrofísica. Nuestro objetivo consistirá en identificar buenas prácticas en el uso de las representaciones visuales. La validación de la metodología seguida en la obtención de una imagen forma parte, evidentemente, de las buenas prácticas científicas. Proponemos que también será necesario validar el uso epistémico que se hace de la imagen, explicitando el papel que ésta juega en la

argumentación seguida en la publicación. En nuestro estudio emplearemos principalmente artículos de investigación aparecidos recientemente en revistas de referencia del ámbito de las ciencias físicas, como *The Astrophysical Journal*.

### **Epistemología – perspectivas deflacionarias e históricas**

Los artículos de Mauricio Suárez de 2003 y 2004 parecen imponerse, al menos en parte de la literatura epistemológica actual, como el punto de partida de un consenso creado en torno a una concepción deflacionaria de la representación científica. Por ejemplo, para Bas van Fraassen tanto los modelos teóricos como los modelos de datos son ambas entidades abstractas, y de la relación de los modelos de datos con los fenómenos que representan tan sólo podremos decir que es selectiva, y relevante exclusivamente para los fines del investigador (van Fraassen 2008, 253). Tendremos así que el conocimiento científico podrá ser objetivo exclusivamente en la medida en que implique una máxima intersubjetividad (van Fraassen 2008, 266). En este contexto, los instrumentos de observación no serían concebidos como ventanas miméticas al mundo invisible, sino como creadores de nuevos fenómenos observables (van Fraassen 2008, 100). Esta caracterización de la observación empírica necesariamente constriñe el alcance epistemológico de las representaciones visuales.

En la década precedente, Ronald Giere señalaba que tanto para el positivismo lógico como para el relativismo sociológico la imagen científica carece de cualquier valor representacional. Giere propone sin embargo construir una tercera vía epistemológica, examinando precisamente las prácticas visuales de teóricos y experimentadores, más allá por lo tanto del mero análisis proposicional de la tradición analítica (Giere 1996). Más recientemente, Giere ha incidido sobre el papel epistémico de las imágenes astronómicas obtenidas mediante instrumentos de observación contemporáneos. Según Giere, dichas imágenes serían modelos de los datos, derivados de la correcta aplicación de una serie de prácticas científicas, siguiendo un procedimiento que considera interno con respecto a la perspectiva específica del instrumento empleado (Giere 2006, 48-49). En este sentido, lo más concluyente que podrá decirse acerca de un modelo científico es que, dadas las perspectivas observacionales y teóricas asumidas, se ajusta adecuadamente al objeto de estudio (Giere 2006, 92). Este marco teórico general, así definido por van Fraassen y Giere, será el que discutiremos en este trabajo.

La metodología que emplearemos podría caracterizarse con el título de un artículo reciente de Philip Kitcher: “la epistemología está ciega sin la historia” (Kitcher 2011). Según Kitcher, la filosofía de la ciencia debe abandonar la búsqueda de principios a priori a cambio de la verificación de sus propuestas metodológicas mediante el contraste con la historia del conocimiento. En relación con esta línea de trabajo, y con el fin de precisar las herramientas conceptuales que emplearemos, recordamos las siguientes conclusiones epistemológicas de Peter Galison, quien en su estudio sobre la historia de la física de partículas pone de manifiesto la independencia parcial del trabajo de físicos teóricos y físicos experimentales: unos y otros pueden llegar a conclusiones independientes, avaladas por sus propias prácticas, aún a pesar de la posible incompatibilidad de sus producciones respectivas. La forma en que ambas tradiciones acaban consolidando resultados no pasa, enfatiza Galison, por el uso de enunciados de protocolo (positivistas) o el choque de paradigmas inconmensurables (relativistas), sino por la coordinación local, que requerirá la creación de un idioma epistémico común

(Galison 1997, 802-803). Pasemos ahora a analizar algunos usos de la imagen astronómica contemporánea.

### **Discusión – prueba empírica e imagen mimética**

Puede ser interesante comenzar analizando una polémica científica: Douglas Clowe y colaboradores publicaron lo que denominaron “una demostración empírica directa de la existencia de materia oscura” (Clowe 2006). El argumento central del artículo se formulaba en torno a una imagen de la distribución estimada de materia en un cúmulo de galaxias, formado por dos subcúmulos en colisión. Según esta imagen, el pico de concentración de materia oscura coincide con la distribución visible de galaxias. Sin embargo, el año siguiente Andisheh Mahdavi y colaboradores, siguiendo técnicas idénticas a las de Clowe y aplicándolas a otro cúmulo, encontraban “un pico de masa sin galaxias que no puede ser fácilmente explicado con el paradigma actual de materia oscura” (Mahdavi 2007).

Señalemos que ambos equipos han seguido una argumentación que puede ser descrita en los mismos términos que emplean van Fraassen y Giere, en tanto que obtienen sus conclusiones de la comparación de modelos de datos (la distribución espacial de materia) con modelos teóricos (simulaciones numéricas de la colisión de los cúmulos). En efecto, la coincidencia de las representaciones derivadas de las observaciones con las simulaciones numéricas confortó a los autores del primer artículo en su conclusión, mientras que, significativamente, el problemático cúmulo Abell 520 ni siquiera ha podido ser modelizado con éxito hasta la fecha (Jee 2012). A pesar de que el primer equipo sigue una metodología científica impecable, su afirmación acerca de la “demostración empírica directa” parece a todas luces excesiva, especialmente teniendo en cuenta el contraejemplo proporcionado por el segundo equipo. Puede pensarse que el carácter aparentemente mimético de las imágenes presentadas ha llevado a los autores a identificar modelos calculados con fenómenos observados, al menos en lo que concierne a la retórica asertiva del título del artículo; quizás un título más adecuado hubiera sido “nuevas observaciones compatibles con los modelos de materia oscura fría”.

Llama la atención sin embargo que tanto autores como evaluadores y editores de la principal revista de investigación en astrofísica, personas que por lo tanto definen las buenas prácticas de la comunidad de investigadores, no tengan ningún reparo en asumir el carácter de prueba empírica que puede revestir una imagen, en contraste con la visión deflacionaria de van Fraassen (el instrumento como creador de fenómenos) y Giere (la imagen como modelo de datos). En la siguiente discusión sobre la utilización de imágenes en las ciencias físicas, intentaremos identificar por una parte si las buenas prácticas científicas nos permiten hablar de algo más que de modelos, y por otra si la epistemología nos puede ayudar a distinguir entre una argumentación legítima y un exceso retórico.

### **Buenas prácticas – actividades científicas representacionales**

Proponemos identificar cuatro campos epistémicos diferenciados en cuanto a la producción de imágenes científicas. Señalaríamos (1) las imágenes fenomenológicas, próximas a las prácticas observacionales, (2) las imágenes heurísticas, asociadas al análisis estadístico de datos empíricos, (3) las imágenes modelizadas, procedentes de simulaciones numéricas y (4) las imágenes analíticas, derivadas del campo teórico.

## **Campo fenomenológico**

En las imágenes de cúmulos de galaxias obtenidas en los últimos 20 años por el Telescopio Espacial Hubble queda de manifiesto la ubicuidad del fenómeno conocido como lente gravitacional. En contra de las precauciones de van Fraassen y Giere, no hay un solo astrónomo que no considere que estas imágenes representan de hecho un fenómeno real. Según las más sólidas prácticas profesionales de los astrónomos, ciertos objetos observacionales son identificados directamente con fenómenos naturales, no con fenómenos instrumentales o modelos de datos. Los conceptos deflacionarios, aunque puedan ser correctos desde un estricto punto de vista epistemológico, resultan ser en este caso engorrosos. Galison identifica en la física experimental de comienzos del siglo XX una tradición mimética, heredera de la ciencia romántica de Howard y Goethe, y que mediante ingeniosos dispositivos instrumentales pone en relación los fenómenos del mundo natural con las observaciones del laboratorio. La técnica experimental de la cámara de burbujas, que relaciona las trazas de ionización con las trayectorias de las partículas subatómicas invisibles, procede de esta tradición (Galison 1997, 140). Designamos como *fenomenológicas* las imágenes derivadas de esta familia de prácticas. Resaltemos que no se trata de una actividad científica obsoleta: el estudio morfológico visual sigue siendo imprescindible en otros campos ajenos a la física de partículas, como la taxonomía, la astronomía o la dinámica de fluidos. En las publicaciones de estas áreas se utilizan tanto representaciones naturalistas como esquemas sintéticos. Ejemplos característicos de esta categoría llenan las páginas del *Atlas internacional de Nubes*, en forma de fotografías representativas y claves de clasificación (Organización Meteorológica Mundial 1975 1987). El objetivo de esta publicación es establecer criterios para la descripción sistemática del tiempo atmosférico, que es empleada en contextos pragmáticos como los partes para la navegación. Insistimos en el carácter empírico de esta publicación, alejada de cualquier formalismo matemático. Es más, en áreas más teóricas como la simulación climática las descripciones de este tipo carecen actualmente de utilidad (Zelinka 2012).

## **Campo heurístico**

Galison distingue dos tradiciones experimentales fundamentales en la física de partículas. Una de ellas se identifica con la cultura de la imagen, representada por el estudio de las trazas de partículas en las cámaras de niebla, y la otra se identifica con la cultura lógica, caracterizada por el uso de circuitos lógicos en combinación con dispositivos contadores de partículas. A pesar de sus diferencias, ambas tradiciones persiguen objetivos comunes: reconstruir las trayectorias de las partículas que atraviesan los detectores, y acumular evidencias estadísticamente significativas sobre sus propiedades. Durante los años 1960, la automatización del proceso de lectura de los registros desplazó el estudio de las trazas desde el mundo de la imagen hacia el análisis cuantitativo de los instrumentos electrónicos (Galison 1997, 401). Para esta nueva cultura híbrida, el análisis de datos dejó de ser una parte auxiliar del proceso experimental: “el análisis de datos es el experimento” (Galison 1997, 429). En astronomía, retomando nuestra discusión sobre los cúmulos de galaxias, el análisis estadístico de las lentes gravitacionales permite estimar, mediante métodos iterativos de cálculo numérico, un mapa de la posible distribución de materia oscura (invisible) en el cúmulo. En este caso, no puede hablarse de representación directa, y sí está plenamente justificado hablar de modelos de datos. Para el análisis numérico puede utilizarse como

dato primario la información morfológica de las imágenes fenomenológicas, pero es habitual también el empleo de imágenes ricas en información cuantitativa, como espectrogramas o figuras de difracción. A su vez, para estas últimas imágenes sí tiene pleno sentido hablar de fenómenos originados en el dispositivo experimental. Entendemos que el rasgo definitorio de este campo epistémico es el análisis estadístico. En efecto, la relación objetiva que pueda establecerse entre estadísticas numéricas y fenómenos observables proporcionará el fundamento de esta práctica, no el análisis de casos individuales significativos. La progresiva adopción de esta familia de técnicas experimentales ha sido definitoria de la ciencia del siglo XX. También es significativa en este campo la utilización de representaciones visuales como resultado del proceso de análisis: esquemas que sintetizan los resultados numéricos y estadísticos, e incluyen habitualmente información morfológica. Atribuimos a estas imágenes la denominación de *heurísticas*. Por ejemplo, puede verse cómo el empleo de las figuras de difracción de rayos X (Friedrich 1912) desplazó las descripciones cualitativas de los atlas mineralógicos de la época romántica en beneficio de la cristalografía, centrada en el estudio de las relaciones de simetría reveladas por la difracción, y que se caracteriza por el uso de estilizadas representaciones visuales de las retículas cristalinas (Niggli 1920). Recalcamos que en estas prácticas no tiene por qué darse necesariamente una justificación teórica deductiva: la clasificación cristalográfica quedó asentada años antes de que existiera una teoría cuántica de los orbitales moleculares para explicar el origen de las simetrías.

### **Campo simulacional**

Como hemos comentado anteriormente, en los artículos de Clowe y Mahdavi la carga de la demostración recae sobre la comparación entre los modelos de datos de distribución de materia oscura y las imágenes generadas en las simulaciones numéricas de colisiones de cúmulos galácticos. Recientemente, Eric Winsberg ha analizado el estatuto epistemológico de las simulaciones numéricas. Winsberg (al igual que Galison) destaca la independencia parcial de las prácticas computacionales, y describe la importancia que éstas han adquirido desde mediados del siglo XX: las simulaciones son una parte necesaria de la metodología científica actual en el estudio de sistemas para los que se carece de soluciones matemáticas analíticas. En cuanto a las imágenes generadas por ordenador, Winsberg menciona el carácter mimético de las representaciones visuales producidas en el estudio de la dinámica de fluidos. Señala que el uso de imágenes realistas en las representaciones de los resultados de las simulaciones es un paso imprescindible para su comparación con los sistemas simulados, como parte del proceso de formulación de inferencias y validación de resultados propio de las prácticas numéricas (Winsberg 2010, 34). Aquí las llamaremos imágenes *modelizadas*. En astrofísica es característico el uso de imágenes miméticas en los modelos numéricos, por ejemplo en las simulaciones de las inestabilidades hidrodinámicas previas a las explosiones de supernova (Endeve 2012). El fenómeno así representado ocurre en el interior de una estrella al borde de la explosión y jamás podrá ser observado directamente. Se estudian sin embargo las similitudes de estas imágenes con las observaciones de restos de supernova (López 2011), y con los modelos materiales empleados en los experimentos de laboratorio de dinámica de fluidos (Foglizzo 2012), desvelándose así líneas de investigación prometedoras.

### **Campo analítico**

James Brown ha propuesto en los últimos años un nuevo punto de vista sobre las imágenes matemáticas, oponiéndose a la tradición “iconoclasta” defendida abiertamente por la escuela bourbakiana. Según Brown, algunas de las imágenes empleadas por los matemáticos no pueden entenderse como representaciones de los conceptos teóricos, sino como instrumentos, herramientas de exploración de las ideas matemáticas (Brown 2008, 40). No entraremos aquí a discutir la defensa del platonismo matemático que hace Brown. Nos interesará sin embargo el uso de la imagen matemática como instrumento de exploración de los conceptos analíticos empleados en las ciencias naturales. Por ejemplo, en el estudio de las colisiones de cúmulos de galaxias, se recurre a esquemas gráficos para explicar los diferentes resultados analíticos obtenidos al utilizar materia oscura de naturaleza fermiónica o bosónica (Lee 2008). Entendemos que estos esquemas no pueden describirse satisfactoriamente como ilustraciones prescindibles de los conceptos teóricos, sino que constituyen herramientas de exploración del pensamiento visual. De ahí nuestra denominación de imágenes *analíticas*. El ejemplo característico de esta categoría serían los diagramas de Feynman, herramienta gráfica ampliamente utilizada para el cálculo de perturbaciones en teoría cuántica de campos. Hay que observar que, a pesar del aspecto de los diagramas, estos no son representaciones de las trayectorias de las partículas subatómicas, sino instrumentos analíticos respaldados por las aproximaciones más tradicionales del cálculo de perturbaciones.

### **Conclusión – imagen y ciencias naturales**

Aunque pensamos que este marco epistemológico es especialmente interesante para la astronomía, también creemos que el análisis puede extenderse a otras ciencias naturales. Por ejemplo, (1) el estudio morfológico del porte arbóreo (Hallé 1968), (2) el análisis estadístico de la distancia genética entre especies (León-Enríquez 2008), (3) la simulación numérica de los esquemas de desarrollo vegetal (Prusinkiewicz 2000) y (4) la teoría botánica que analiza al árbol en términos de unidades de replicación (Barthélémy 1997), proporcionan una visión coherente y fundamentan un esquema de clasificación para la arquitectura arbórea.

Concluimos que en la actividad de los investigadores el uso de imágenes facilita la comunicación entre las distintas tradiciones profesionales, y permite establecer un diálogo interdisciplinar entre subculturas científicas en torno a un vocabulario común. En todas estas líneas de trabajo, las representaciones visuales constituyen el vehículo preferente en el que se sintetizan los resultados de la investigación, y son piezas necesarias de la argumentación seguida en las publicaciones. Por lo tanto, la clara identificación del alcance epistémico de cada imagen formará parte de las buenas prácticas científicas.

### **Referencias**

- Barthélémy, D. & al. 1997, ‘Architecture, Gradients Morphogénétiques et Âge Physiologique Chez les Végétaux’, in Bouchon, J. & al. (eds.), *Modélisation et Simulation de l'Architecture des Plantes*, Paris, INRA Éditions, 89-136
- Brown, J. 2008, *Philosophy of Mathematics*, Nueva York, Routledge
- Clowe, D. & al. 2006, ‘A Direct Empirical Proof of the Existence of Dark Matter’, *The Astrophysical Journal Letters* 648(2), L109-L113

- Endeve, E. & al. 2012, 'Turbulent Magnetic Field Amplification from Spiral SASI Modes', *The Astrophysical Journal* 751(1), id. 26
- Foglizzo, T. & al. 2012, 'A Shallow Water Analogue of the Standing Accretion Shock Instability', *Physical Review Letters* 108(5), id. 051103
- Friedrich, W. & al. 1912, 'Interferenz-Erscheinungen bei Röntgenstrahlen', *Sitzungsberichte der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften*, 303-322
- Galison, P. 1997, *Image and Logic*, Chicago, The University of Chicago Press
- Giere, R. 1996, 'Visual Models and Scientific Judgment', in Baigrie, B. (ed.), *Picturing Knowledge*, Toronto, University of Toronto Press, 269-302
- Giere, R. 2006, *Scientific Perspectivism*, Chicago, The University of Chicago Press
- Hallé, F. 1968, 'Recherches sur l'Architecture et la Dynamique de Croissance des Arbres Tropicaux', *Sixième Conférence Biennale de la West African Science Association*, 12 p.
- Jee, M. & al. 2012, 'A Study of the Dark Core in A520 with Hubble Space Telescope', *The Astrophysical Journal* 747(2), id. 96
- Kitcher, P. 2011, 'Epistemology Without History is Blind', *Erkenntnis* 75(3), 505-524
- Lee, J. & al. 2008, 'BEC Dark Matter Can Explain Collisions of Galaxy Clusters', *arXiv.org* 0805.3827v1 (documento electrónico)
- León-Enríquez, B. & al. 2008, 'The Architecture of Phyllanthus Acuminatus Vahl', *Adansonia* 30(1), 137-149
- López, L. & al. 2011, 'Using the X-ray Morphologies of Young Supernova Remnants to Constrain Explosion Type, Ejecta Distribution, and Chemical Mixing', *The Astrophysical Journal* 732(2), id. 114
- Mahdavi, A. & al. 2007, 'A Dark Core in Abell 520', *The Astrophysical Journal* 668(2), 806-814
- Niggli, P. 1920, *Lehrbuch der Mineralogie*, Berlin, Gebrüder Borntraeger
- Organización Meteorológica Mundial 1975, *International Cloud Atlas - Volume I*, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial
- Organización Meteorológica Mundial 1987, *International Cloud Atlas - Volume II*, Ginebra, Organización Meteorológica Mundial
- Prusinkiewicz, P. & Remphrey, W. 2000, 'Characterization of Architectural Tree Models Using L-Systems and Petri Nets', *4th International Symposium on the Tree*, 177-186
- van Fraassen, B. 2008, *Scientific Representation*, Oxford, Oxford University Press
- Winsberg, E. 2010, *Science in the Age of Computer Simulation*, Chicago, The University of Chicago Press
- Zelinka, M. & al. 2012, 'Computing and Partitioning Cloud Feedbacks using Cloud Property Histograms - Part I', *Journal of Climate* (en imprenta)