

A través de los lentes de los observatorios digitales: Representaciones visuales en la astrofísica actual.

Piroska Csúri.

Cita:

Piroska Csúri (2015). *A través de los lentes de los observatorios digitales: Representaciones visuales en la astrofísica actual*. XI Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

Dirección estable: <https://www.aacademica.org/000-061/373>

**A través de los lentes de los observatorios digitales:
Representaciones visuales en la astrofísica actual**

Piroska Csúri

Universidad de San Andrés

piroska.csuri@gmail.com

Resumen

La introducción de instrumentos electrónicos para capturar datos astrofísicos exacerbó las existentes tensiones metodológicas relativas a la interpretación y papel diferencial de los datos científicos en dos formatos distintos: numérico y visual. Puntualmente, la tecnología digital introdujo una inestabilidad en la trama instrumental (Hacking 1992) de la astrofísica, activando “mecanismos sociales” que conducen hacia una nueva estabilidad consensuada. El nuevo escenario instrumental digital ofrece una oportunidad interesante para indagar la (re)construcción social del estatus epistemológico de los datos astrofísicos en sus distintas formas representacionales. En particular, debido a la revolución digital, se invirtió la relación de precedencia previamente existente entre representaciones visuales y representaciones numéricas de los datos: actualmente esas representaciones visuales son derivadas de representaciones numéricas (son “pictures of numbers”), y no vice versa. Datos etnográficos sugieren que mientras el análisis y procesamiento numéricos priman como herramienta metodológica para “fabricar hechos” astrofísicos, las representaciones visuales juegan un rol fundamental en la formulación de las hipótesis científicas así como en la retórica de la comunicación de los resultados (sea en ámbitos profesionales o legos). En ambos discursos, las representaciones visuales tienden a presentarse como hechos objetivos, una noción en sí altamente problemática (Daston y Galison 2007).

Palabras claves: astrofísica; instrumentos de captura digital; observación científica; sociología de la ciencia

Introducción

La introducción de la captura electrónica de datos a través de dispositivos (“cámaras”) digitales transformó sustancialmente las prácticas observacionales y el procesamiento de datos en la astrofísica. Por tratarse de datos traducidos directamente al formato numérico, la extracción de información relevante a través de métodos matemáticos y su procesamiento en

principio han relegado innecesario convertir los datos en imágenes “cuasi-fotográficas” para proveer la “evidencia científica” para apoyar una hipótesis. Sin embargo, astrofísicos siguen utilizando imágenes generadas a partir de esos datos electrónicos/numéricos desde el momento de la observación inicial hasta la presentación de sus resultados. De esta perspectiva surge la cuestión: ¿qué papel exactamente juegan las imágenes en la astrofísica actual?

Sin duda, la presentación de datos en formato de imágenes (gráficos o en un formato cuasi-fotográfico) cumple un papel comunicacional (en vez de un rol evidencial, en el sentido estricto) al representar visualmente la información relevante concisamente para su fácil procesamiento. Estas imágenes, además de cumplir con criterios de eficacia comunicacional, típicamente también se someten a criterios “estéticos”. No obstante, según los investigadores mismos, el papel probablemente más crucial que cumplen las imágenes fotográficas generadas reside en su rol en la formulación de hipótesis. La contemplación visual de tales imágenes les permite a los investigadores intuitivamente identificar los fenómenos físicos subyacentes (que “saltan al ojo”) a base de imágenes mentales asociadas a tipos de fenómenos representados en una “física naïf”, que forma parte de su acervo cognitivo. Los investigadores, entonces, necesitan del formato visual para formular sus hipótesis a base de semejanzas visuales vis-à-vis sus imágenes mentales asociadas a conceptos de fenómenos físicos determinados.

Este trabajo presenta algunos resultados cualitativos preliminares de un estudio etnográfico con astrónomos y astrofísicos. Se han conducido varias entrevistas libres con astrofísicos en ejercicio, que permitieron la formulación de una hipótesis de partida acerca de las imágenes como una interface visual entre los datos numéricos que forman la base del procesamiento de datos y los conocimientos cognitivos de los investigadores acerca de la viabilidad y consistencia conceptual de las hipótesis propuestas.

La problemática de la observación instrumentalizada

En la ciencia actual, prácticamente todos los datos de relevancia científica son recolectados a través de instrumentos específicamente desarrollados para tal tarea. El “parque instrumental” de la ciencia está en constante desarrollo, y nuevas tecnologías y nuevos instrumentos se van sumando a las prácticas observacionales de la ciencia cada día. Sin embargo, por un lado, la

naturalización del uso de instrumentos es resultado de un proceso histórico; por otro lado, con cada nueva tecnología se vuelve imprescindible establecer códigos de legibilidad para las distintas representaciones (sean visuales o numéricas) de los datos así obtenidos.

Desde este punto de vista, en la disciplina de la astronomía/astrofísica podemos distinguir por lo menos tres giros históricos fundamentales en cuanto a las técnicas y prácticas de observación: (i) la introducción del telescopio, el primer instrumento de observación astronómica; (ii) la incorporación de los procesos fotográficos al registro de los datos de observación por telescopio; y (iii) la adopción de instrumentos de captura electrónica. Como en el caso de todas las ramas de la ciencia, la nueva instrumentación requiere el desarrollo de estándares de registro y códigos acordados de legibilidad que permitan la circulación de los registros científicos, y las imágenes científicas llevan un peso considerable en estas comunicaciones.

En sus inicios, como en el caso de todas las ciencias, la observación astronómica se basaba en y se limitaba estrictamente por el poder de los órganos de los distintos sentidos del ser humano. Con el invento del telescopio, Galileo Galilei cuestionó en sus fundamentos el papel que jugaba ese instrumento para asistir en la observación, y se problematizaron las posibles desviaciones entre la observación ocular (directa, no mediada) y la observación instrumentalizada.

En segundo lugar, una vez ya naturalizado el uso del telescopio en la práctica observacional astronómica, la invención de la fotografía y su introducción a las prácticas de observación en distintos ámbitos científicos exacerbaron la discusión acerca de la instrumentalización de la observación y la interpretación de las representaciones obtenidas. Por su carácter mecánica, la fotografía despertaba expectativas de producir imágenes “objetivas”, cuya interpretación se concebían como evidente y transparente. Sin embargo, (a diferencia de lo observado por los telescopios al ojo desnudo), los primeros procesos fotográficos rendían imágenes claramente inferiores a la observación ocular. Se necesitaron cerca de cinco décadas hasta que la tecnología fotográfica evolucionó lo suficiente para dar con imágenes suficientemente nítidas para que sean verdaderamente servibles para la astronomía, y, a la vez, para que se consoliden estándares de legibilidad de las imágenes fotográficas como registros de los datos astronómicos (ver Lankford 1984, Csúri 2013b).

Por otro lado, la introducción de los procesos fotográficos a la observación astronómica trajo una promesa particularmente poderosa: la capacidad de registrar fotográficamente rayos que se encuentran fuera del espectro visible de las ondas electromagnéticas. Aunque al momento de la difusión de los primeros procesos fotográficos a fines de la década de 1830 ya se conocía la existencia los rayos ultravioletas e infrarrojos, con el descubrimiento de los rayos X a fines del siglo XIX esta posibilidad se amplió considerablemente, hecho que impactó fuertemente tanto en el ámbito científico como en el imaginario social lego. Con el descubrimiento de Wilhelm Röntgen, la observación fotográfica claramente y ampliamente superó los límites de la observación ocular en otro aspecto. De esta manera la observación instrumentalizada se consolidó como una manera no solamente más eficaz, pero también claramente capaz de obtener registros fuera de la capacidad teórica de los órganos de los sentidos humanos.

En tercer lugar, el invento de los sensores digitales (los sensores CCD) y la introducción de la captura electrónica de datos a través de dispositivos (“cámaras”) digitales transformó sustancialmente las prácticas observacionales y el procesamiento de datos en la astrofísica. En particular, los datos de observación dejaron de ser observados y capturados como imágenes, y pasaron a ser recolectados como datos electrónicos representados originalmente en un formato numérico. Sin embargo, la práctica de investigación astrofísica sigue apoyándose en imágenes generadas a partir de los datos numéricos. Por lo tanto, la evidente insistencia de la disciplina en seguir utilizando un formato de representación semejante a imágenes fotográficas analógicas suscita una serie de preguntas: ¿Con qué objetivo se convierten los datos numéricos en un formato visual? ¿Qué papel específico juegan las imágenes en la astrofísica actual? ¿Qué ventajas específicas reviste la presentación de los datos en un formato visual casi-fotográfico frente a su procesamiento en formato numérico?

Cuestiones básicas de procesamiento de imágenes

Los datos de observación astronómica actualmente se obtienen a través de instrumentos de captura electrónica.¹ Los datos obtenidos en ese formato (principalmente por los tal llamados

¹ Aunque las ondas electromagnéticas que estos instrumentos registran típicamente vienen de un rango fuera del espectro de la luz visible al ojo humano (ondas radio, rayos X, rayos ultravioleta, rayos infrarrojos, etc.), los

CCD, tecnología desarrollada originalmente por James Gunn, de Princeton University), se convierten en un formato numérico para permitir su almacenamiento y procesamiento. Los distintos tipos de “telescopios” obtienen datos en distintos rangos del espectro electromagnético, cada uno con la posibilidad de obtener información sobre distintos fenómenos físicos.

A diferencia de la época de registros fotográficos astronómicos, cuando la mayor preocupación de los astrónomos consistía en extraer o convertir en datos numéricos lo registrado en las placas fotográficas (como en la fotometría y la astrometría), en la época electrónica el procesamiento y composición de las imágenes parece haberse convertido en una tarea central en la práctica científica cotidiana:

“[los astrónomos] utilizan una tecnología de *imaging*, la placa fotográfica, con cuya ayuda los fotones de la luz emitidos por cuerpos estelares pueden ser capturados y analizados. La astronomía, por lo tanto, parece haberse convertido de una ciencia que estudia fenómenos naturales en una ciencia que procesa imágenes de fenómenos. Desarrollos adicionales de la tecnología de *imaging* desde 1976 han traído como resultado el reemplazo de la placa fotográfica por chips CCD (charge-coupled device). ...[el uso de CCD chips con telescopios espaciales] hace que la astronomía sea totalmente independiente de la observación directa en el campo. Una vez la transición se ha completado, la astronomía se habrá transformado de una ciencia de observación en el campo a una ciencia de laboratorio de procesamiento de imágenes.” (Karin Knorr Cetina 1992, p.117).

Otros autores como Ian Hacking discuten con la postura de Knorr Cetina que la tecnología del *imaging* haya cambiado el estatus de la astronomía de una ciencia de observación a una ciencia de laboratorio:

“Aunque la ciencia de laboratorio de procesamiento de imágenes es de veras parte de la investigación astronómica y cosmológica, la astronomía y la astrofísica consiste en mucho más. El procesamiento de imágenes crea muchos fenómenos propios. También provee datos trasportables que pueden ser analizados por cualquiera. No obstante, en

instrumentos siguen denominándose con términos provenientes de la época de observación ocular, como “telescopios” o “cámaras”.

mi modo realista yo no diría que crea ningún fenómeno astronómico en el mismo sentido que experimentadores crearon el fenómeno de *lasing*. Y no creo que sea cierto seguir a Knorr Certina al decir que “los objetos de investigación se vuelven ‘desligados’ de su entorno natural.” Los datos digitalizados no son ni más ni menos desligados que el material que confronta el astrónomo de Vermeer.” (Ian Hacking 1992, p. 34)

A pesar de la discordia sobre el estatus de la astronomía como una ciencia de observación o de laboratorio, para ambos investigadores parece indiscutible que el invento de los sensores digitales (los sensores CCD) y la introducción de la captura electrónica de datos a través de dispositivos (“cámaras”) digitales había transformado sustancialmente las prácticas observacionales y el procesamiento de datos en la astrofísica. Por primera vez en la historia de la astronomía, los datos de observación ya no son observados y capturados como imágenes, más bien como datos electrónicos representados en formato numérico. Por tratarse de datos traducidos directamente al formato numérico, la extracción de información relevante a través de métodos matemáticos y su procesamiento en principio han relegado en principio innecesario convertir los datos en imágenes “fotográficas” para proveer los cálculos numéricos con valor de “evidencia científica” para apoyar una hipótesis. No obstante, hace falta problematizar la centralidad de la actual “manipulación” masiva de los datos electrónicos obtenidos con el objetivo de su conversión en un formato visual.

En la astrofísica, las imágenes generadas a partir de datos electrónicos se utilizan en las distintas fases de la investigación: la práctica de observación, la formación de la hipótesis, el testeo de la hipótesis y en la presentación de sus resultados en artículos.² En ninguno de estos casos las imágenes cumplen el rol de “evidencia científica dura”. Más bien, la utilidad de tales representaciones visuales parece residir en el hecho que se tratan de “imágenes de números” que cumplen funciones descriptivas y comunicativas, y que a la vez permiten otros modos de exploración y análisis de los datos (ver Tufte 1983) o, desde otra perspectiva teórica, funcionan como diagramas de razonamiento (ver Larkin y Simon 1987), que proveen una visualización de los datos numéricos.

² Lo paradójico es que las imágenes capturadas con aparatos electrónicos parecen vinculadas de manera aún más estrecha con (una variante del concepto de) la objetividad (podríamos llamarla ‘objetividad numérica’), aunque no fueron capturadas como imágenes, más bien su presentación como imagen en sí es el resultado de una construcción/transformación/proyección de la información.

La función “estética”

La gran mayoría de la investigación sobre las imágenes científicas fue abarcada desde la perspectiva de la historia del arte, bajo un supuesto de larga data y de una resistencia considerable que cualquier producción histórica de imágenes pertenecería, por excelencia, al ámbito de la historia del arte. Hasta los estudios epistemológicos y sociológicos de imágenes científicas manifiestan esta herencia al producir libros con títulos como *Picturing Science, Producing Art* (de Caroline Jones y Peter Galison), inscribiéndolos en la tradición de las investigaciones sobre representaciones artísticas. Los numerosos concursos “artísticos” de imágenes científicas proveen evidencia adicional a una interpretación social persistente de estas científicas dentro de la esfera científica, independientemente de su función científica.

En el caso de las revistas científicas, también es bien conocida la competición entre los autores de los artículos aceptados para llegar a la tapa de las revistas. Aunque los criterios efectivos de selección se necesitan indagar a través de entrevistas a editores, sin duda los mismos contemplan un factor fundamentalmente estético, más allá de la originalidad e impacto científico de los artículos.³ Los potenciales autores, al preparar sus textos para la publicación, mencionan explícitamente sus esfuerzos dirigidos específicamente hacia producir una “imagen bella” para acompañar sus resultados, para obtener este lugar de privilegio en el diseño de la revista, que en sí se considera un logro importante dentro de la comunidad científica.

La formulación de la hipótesis

El caso de Mira, una de las estrellas variables más antiguamente descubiertas, fue citado específicamente por un astrofísico para ejemplificar la utilidad de representaciones visuales en la investigación astronómica.

³ En este sentido no parecería equivocado relacionar semejante criterio de selección del artículo de tapa a base de las calidades estéticas de la imagen con el “gusto bárbaro” descrito por Bourdieu (1998). El “gusto bárbaro”, según el sociólogo, se caracteriza por una valoración “estética” de una imagen que de hecho se basa en la valoración del objeto representado en la imagen.

Mira es una estrella variable, que en realidad se trata de una estrella binaria (un sistema de dos estrellas que orbitan alrededor de un solo eje en común). Imágenes de la cola que acompaña el curso de Mira han representado un enigma para los astrofísicos, por mostrar un patrón de turbulencia importante. Sin embargo, el descubrimiento de un patrón visual en el nuevas imágenes obtenidas de sensores en el rango extremo ultravioleta (del satélite GALEX) reportado por Martin et al. (2007) resolvió el misterio, al contribuir a la formulación de una hipótesis particular acerca de la razón detrás de este fenómeno de turbulencia. Las nuevas imágenes mostraron un patrón visual que fue identificado por los investigadores como un patrón analógico a la estela y la cola turbulenta que se forma en el caso de una bala que atraviesa un medio líquido. Similar patrón se produce en aguas atravesadas por embarcaciones, en particular a velocidades más altas. La percibida similitud y analogía visuales entre la imagen obtenida de Mira y fenómenos ya conocidos dio la clave a que Mira estaría atravesando una área del espacio que posee un “medio interestelar” (en otras palabras, “polvo cósmico”). Sin entrar en más detalles de la teoría física detrás del comportamiento del sistema binario estelar Mira, el punto significativo es que el papel que la imagen jugó en la formulación de la hipótesis para explicar el fenómeno era posibilitar el reconocimiento de un patrón visual presente en el repertorio visual de nuestra representación mental de los fenómenos físicos, una suerte de “física naïf”, una versión de conocimiento que no se apoya en leyes cuantificables, más bien en una métrica de semejanza visual. A la vez, la pregunta si el patrón visual detectado de Mira análogo al patrón correspondiente a la estela de un objeto atravesando un medio “espeso” es una representación que forma parte de un conocimiento experto o es parte de nuestro conocimiento cotidiano del mundo físico abre preguntas adicionales hacia nueva investigación.

La imagen “fidedigna”: una proyección de imágenes mentales

Entre las muchas y muy diversas posibilidades de procesamiento de imágenes se destacan dos que implican una intervención radical en el formato de la imagen producto del procesamiento: el falso color y las imágenes compuestas.

El uso de “falso color” simplemente significa que los colores utilizados en una imagen no corresponden a ninguna representación de color real, más bien están asignados arbitrariamente a cierto rango de datos. Por ejemplo, en caso de una captura con un telescopio

en el rango de rayos X, que son invisibles al ojo humano, y por lo tanto no corresponden a ningún color perceptible para el ojo humano, simplemente se le asigna un color en principio arbitrario para la representación visual de los datos obtenidos. En otros casos, aún en el caso de longitudes dentro del mismo rango visible, se pueden asignar distintos colores a voluntad a distintos valores de datos para obtener una representación visual que de esta manera representa gráficamente las variaciones. Un ejemplo sería el caso de las imágenes satelitales o de radares que representan la altitud de la cobertura de nubes sobre un territorio.

La asignación de falso color frecuentemente se asocia con otro procedimiento, la factura de imágenes compuestas. En estos casos, se combinan varias imágenes distintas que típicamente representan capturas de datos de un mismo objeto (por ejemplo el remanente de una supernova en Dubner et al. 2013) que posiblemente provienen de distintos momentos o incluso de distintos instrumentos.⁴ Es objetivo de futura investigación indagar en qué casos y con qué objetivo se utiliza semejante procedimiento.⁵

La observación y el acceso a datos en la época digital

La introducción de instrumentos de captura digital de datos astronómicos y la consecuente disponibilidad de datos en formato electrónico provenientes de esos instrumentos trajeron un cambio radical en los modos de observación astronómica y el procesamiento y acceso a los datos.

Antes que nada, los modos de observación astronómica sufrieron cambios significativos tanto en el ámbito profesional como fuera del mismo. Tradicionalmente, los astrónomos acudían en persona a los telescopios para llevar adelante un plan de observación particular. Con los avances en la complejidad del manejo de los telescopios ópticos, los astrónomos ya venían alejándose cada vez más de los ideales de una observación directa, necesitando la

⁴ La realización de imágenes compuestas en realidad precede la invención de la tecnología digital de imágenes. En épocas de fotografía analógica se utilizaban varias técnicas de montaje (collage), como por ejemplo la “impresión combinada”, una técnica ampliamente difundida en círculos artísticos del siglo XIX. Para una descripción contemporánea de ese procedimiento, ver Robinson (2003), la traducción de un artículo originalmente publicado en el *British Journal of Photography* en 1860.

⁵ En el contexto de otra disciplina, la neurociencia, Alač (2004) propone una hipótesis similar acerca del papel de las imágenes obtenidas por método del fMRI en la metodología científica, según la cual las imágenes que se preparan a través de distintos métodos de *imaging* juegan, por un lado, un rol activo en el proceso de construcción de significación, y por otro lado revelan aspectos fundamentales de la cognición humana.

intervención y mediación de técnicos especializados en la maniobra de los telescopios (ver Hoeppe 2014). No obstante, frente estos modos de observación instrumentalmente mediada (pero presenciada en persona), la captura y transmisión electrónica de datos hizo posible que se implementara una nueva modalidad de observación: la tele-observación a través del *streaming* de datos desde observatorios terrestres o espaciales a la pantalla del investigador. Con esta tecnología, el astrónomo observador está relevado de la necesidad de co-presenciar la colección de los datos astronómicos, situación que introduce otra instancia adicional de mediación entre el científico y los datos de observación más allá de los instrumentos propios de captura. Más allá de una mera transformación de las prácticas científicas mismas, esa mediación adicional tiene consecuencias epistemológicas debido a la creciente brecha de mediación entre científico y la naturaleza observada.

A la vez, la captura electrónica de datos abrió la posibilidad de armar grandes bases de datos electrónicos donde los datos provienen de una variedad de distintos instrumentos (como por ejemplo el Sloan Digital Sky Survey, ver <http://www.sdss.org/>), construyendo de esta manera verdaderos Observatorios Virtuales que aseguran el acceso público libre a los datos astronómicos (ver Berriman et al. 2012). Desde 2010 funciona la International Observatory Virtual Alliance (ver <http://www.ivoa.net/>), la cual actualmente cuenta con 19 observatorios virtuales como miembros (ver <http://wiki.ivoa.net/twiki/bin/view/IVOA/WhoIsWho>). Los efectos epistemológicos del ensamblaje de datos de observaciones provenientes de diversos instrumentos (obtenidos con parámetros de observaciones diferentes) en un “Cielo Virtual” recién se empiezan a considerar a partir de las dificultades surgidos en armar las bases de datos en cuestión.

Al mismo tiempo, impulsado por la explosión de datos recolectados y la posibilidad de hacerlos accesibles a través del internet, la comunidad astronómica experimentó un cambio sociológico profundo. Esta transformación se manifiesta, entre otros, en el lanzamiento de proyectos de “ciencia ciudadana” como Galaxy Zoo (ver <http://www.galaxyzoo.org/>). Uno de los proyectos científicos llevados adelante por Zooniverse (ver <http://www.galaxyzoo.org/>), y a semejanza del “periodismo ciudadano”, tales proyectos explotan la capacidad ociosa de una comunidad virtual, implementan una inteligencia colectiva a la vez que cuestionan una diferenciación tajante entre “científicos acreditados” y “aficionados” de la astronomía. El público científico no-profesional participa típicamente de dos maneras distintas: como

aficionados (típicamente produciendo imágenes astronómicas) y como “mano de obra” no calificada.⁶

A la vez, los resultados obtenidos del procesamiento humano de datos astronómicos proveen información valiosa para el desarrollo de procesamiento automático de los datos, mientras nos informa sobre las especificidades de la cognición humana en su tarea de la categorización visual de tipos de objetos astronómicos (como por ejemplo en la tarea de clasificar galaxias según una tipología; ver Banerji et al. 2010).

Conclusiones y futuras direcciones

Los resultados de primeras entrevistas informales con investigadores en astrofísica y un primer acercamiento a revistas de astrofísica indican una dirección clara para la indagación: las diversas funciones de las imágenes en distintas fases de la investigación astrofísica y diseminación científica responden a necesidades muy distintas, y principalmente cumplen una función de intermediación (interface) entre datos cuantitativos y representaciones cognitivas en formato visual de los investigadores. Entre los próximos objetivos de este proyecto de investigación se encuentra la realización de entrevistas semi-estructuradas a astrofísicos, y el seguimiento del proceso de la desarrollo de imágenes para la publicación de un artículo desde la obtención de los datos en formato electrónico hasta la efectiva publicación del artículo en cuestión. Además, se proyectan entrevistas a editores de publicaciones científicas (académicas y de difusión) acerca de los criterios que se utilizan a la hora elegir que imágenes acompañan los artículos a publicar.

Bibliografía

Alač, Morana (2004) “Negotiating pictures of numbers”. *Social Epistemology*, 18(2-3): 199-214. DOI: 10.1080/0269172042000249291.

⁶ La motivación para la participación del público en estos proyectos es muy variada. Para una encuesta al respecto, ver Raddick et al. (2013).

- Banerji, Manda, Ofer Lahav, Chris Lintott, et al. (2010) "Galaxy Zoo: reproducing galaxy morphologies via machine learning." *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 406: 342-353.
- Beaulieu, Anne (2002) "Images Are Not the (Only) Truth: Brain Mapping, Visual Knowledge, and Iconoclasm". *Science, Technology, & Human Values*, 27(1): 53-86.
- Berriman, G. Bruce, Robert J. Hanisch, T. Joseph W Lazio, Alexander Szalay y Giuseppina Fabbiano (2012) "The organization and management of the Virtual Astronomical Observatory". *Proceedings of SPIE 8449, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy V*, 84490H (August 13, 2012); doi:10.1117/12.926605. Disponible en línea también: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1206/1206.4079.pdf>. Consultado: 30 de septiembre, 2014.
- Bourdieu, Pierre (comp.) (1998) *La fotografía: Un arte intermedio*. México: Nueva Imagen.
- Brown, Harold I. (1985) "Galileo on the Telescope and the Eye". *Journal of the History of Ideas*, 46: 487-501.
- Cassam-Chenai, Gamil, John P. Hughes, Estela M. Reynoso, Carles Badenes y David Moffett (2008) "Morphological Evidence for Azimuthal Variations of the Cosmic-Ray Ion Acceleration at the Blast Wave of SN 1006", *ApJ*, 680: 1180.
- Csúri, Piroska (2012) "Photography, the Scientific Image and Notion(s) of Objectivity". Manuscrito de charla presentada en el seminario del Department of Rare Books and Special Collections, Firestone Library, Princeton University, Princeton, NJ, EEUU.
- Csúri, Piroska (2013a) "Una retina artificial a escala de gigantes: fotografía astronómica en el siglo XIX". *Blanco sobre blanco* (Buenos Aires), 4:54-63.
- Csúri, Piroska (2013b) "El cielo en una caja: Fotografía astronómica, objetividad y la práctica científica en el siglo XIX". Manuscrito de charla presentada en el *2ndo Simposio Internacional, Fotografía en América, Norte y Sur: perspectivas comparadas*, Universidad Nacional de San Martín, Buenos Aires, Argentina, mayo 2013.
- Csúri, Piroska (2013c) "Fotografías del fondo de ojo: Justo Lijó Pavía y el surgimiento de la oftalmología en la Argentina". (con Rebecca Ellis) Manuscrito de charla presentada en el *Primer Congreso Iberoamericano de Historia de la Ciencia y la Tecnología*, Buenos Aires, Argentina, setiembre 2013.
- Daston, Lorraine y Peter Galison (1992) "The Image of Objectivity". *Representations*, 40: 81-128.
- Daston, Lorraine y Peter Galison (2007) *Objectivity*. New York, Zone Books.

- de Rijcke, Sarah y Anne Beaulieu (2007) "Taking a Good Look at Why Scientific Images Don't Speak for Themselves". *Theory & Psychology*, 17(5): 733-742.
- Dubner, Gloria, N. Loiseau, P. Rodríguez-Pascual, M. J. S. Smith, E. Giacani y G. Castelletti (2013) "The most complete and detailed X-ray view of the SNR Puppis A". *Astronomy and Astrophysics*, 555: July 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201321401>
- Dumit, Joseph (2004) *Picturing personhood: brain scans and biomedical identity*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Frow, Emma (2012) "Drawing a line: Setting guidelines for digital processing in scientific journal articles." *Social Studies of Science*, 42(3): 369-392.
- Hacking, Ian (1983) *Representing and intervening*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Hacking, Ian (1992) "The Self-vindication of the Laboratory Sciences", en Andrew Pickering, ed. *Science as Practice and Culture*, Chicago y London: Chicago University Press, pp. 29-64. Kindle edition.
- Hoeppe, Götz (2012) "Astronomers at the observatory: place, visual practice, traces." *Anthropological Quarterly*, 85(4): 1141-1160.
- Hoeppe, Götz (2014) "Working data together: The accountability and reflexivity of digital astronomical practice". *Social Studies of Science* 44(2): 243-270.
- Jones, Caroline A. y Peter Galison (1998) *Picturing Science, Producing Art*. New York: Routledge.
- Knorr Cetina, Karin (1992) "The Couch, the Cathedral, and the Laboratory: On the Relationship between Experiment and Laboratory in Science," en Andrew Pickering, ed. *Science as Practice and Culture*, Chicago y London: Chicago University Press, pp. 113-138. Kindle edition.
- Lankford, John (1984) "The impact of photography on astronomy," en Owen Gingerich, (1984) ed. *Astrophysics and Twentieth Century Astronomy to 1950: Part A*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 16-39.
- Larkin, Jill H. y Herbert Simon (1987) "Why a Diagram is (Sometimes) Worth Ten Thousand Words". *Cognitive Science*, 11(1): 65-99.
- Manovich, Lev "Las paradojas de la fotografía digital", en Carlos Basualdo (2004) ed., *Los usos de la imagen. Fotografía, film y video en La Colección Jumex*. Buenos Aires: MALBA, pp. 101-109. Originalmente publicado en Hubertus v. Amelunxen, et al. (1996), eds. *Photography After Photography*. Amsterdam: G+B Arts.

- Martin, D. Christopher, Mark Seibert, James D. Neill, David Schiminovich, Karl Forster, R. Michael Rich, Barry Y. Welsh, Barry F. Madore, Jonathan M. Wheatley, Patrick Morrissey and Tom A. Barlow (2007) "A turbulent wake as a tracer of 30,000 years of Mira's mass loss history". *Nature*, 448(16): 780-783. DOI: 10.1038/nature06003.
- NASA (2007) "Mira: A real shooting star!" Disponible en línea:
http://spaceplace.nasa.gov/review/posters/...mira.../mira_poster_back_all.pdf%E2%80%8E/
- Norris, Ray P. (2010) "Next-generation astronomy". *Proceedings of Science* 015. Manuscrito de charla en el congreso Accelerating the Rate of Astronomical Discovery, 11-19 agosto, 2009, Rio de Janeiro, Brazil. Disponible en línea:
<http://www.atnf.csiro.au/people/rnorris/papers/n241.pdf>. Consultado: 30 de septiembre, 2014.
- Raddick, M. Jordan, Georgia Bracey, Pamela L. Gay, Chris J. Lintott, Carie Cardamone, Phil Murray, Kevin Schawinski, Alexander S. Szalay y Jan Vandenberg (2013) "Galaxy Zoo: Motivations of citizen scientists". *Astronomy Education Review* 12(1).
Disponible en línea: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1303/1303.6886.pdf>. Consultado: 30 de septiembre, 2014.
- Robinson, Henry Peach (2003) "El propósito pictórico en la fotografía," en Joan Fontcuberta (2003) comp., *Estética fotográfica*. Barcelona: Gustavo Gili, pp.53-64.
- Snyder, Joel (1998). "Visibilization and visualization". In Caroline A. Jones and Peter Galison (1998). *Picturing Science, Producing Art*. Routledge, New York, pp.379-399.
- Tufte, E. R. (1983) *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, CT: Graphics Press.