

Las ilustraciones en los artículos científicos: reflexiones acerca de la creciente importancia de lo visual en la comunicación científica

Elke Köppen *

Artículo recibido:
7 de noviembre de 2005.

Artículo aceptado:
25 de septiembre de 2006.

RESUMEN:

Partiendo de una presentación de las particularidades y las funciones del artículo científico, se analiza el papel que desempeñan las ilustraciones en la comunicación científica formal frente a las posibilidades tecnológicas actuales relativas a la producción de imágenes científicas y la visualización computacional de datos y de información. Se presentan resultados de un análisis de artículos de investigación publicados en las revistas *Science* y *Nature* en el año 2003 pertenecientes al campo de las ciencias biológicas.

Palabras clave: Comunicación científica; Información visual.

* Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM. koppen@servidor.unam.mx

ABSTRACT

Illustration in scientific articles: reflections on the growing importance of the visual in scientific communication*Elke Köppen*

After presenting the characteristics and functions of the scientific article, this paper analyzes the role of illustrations in formal scientific communication within the framework of existing technology for the creation of scientific images and data and information visualization. Results of an analysis of research articles in the Biological Science published in *Nature* and *Science* in 2003, are presented.

Keywords: Scientific communication; Visual information.

LAS ILUSTRACIONES EN LOS ARTÍCULOS CIENTÍFICOS:
REFLEXIONES ACERCA DE LA CRECIENTE IMPORTANCIA DE LO VISUAL
EN LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA

Al revisar colecciones de las revistas generalistas más reconocidas del ámbito científico como son *Science* y *Nature*, se nota a primera vista que durante los últimos 25 años han ocurrido cambios notables en lo que a lo visual se refiere. Se observa la creciente publicación de portadas llamativas a todo color que explotan el impacto visual y la belleza de las imágenes producidas en las ciencias, así como una mayor inclusión de representaciones visuales atractivas en las diferentes secciones que componen a las revistas. El uso del color, en constante aumento, inicia en la publicidad pagada por los anunciantes hasta llegar, por último, al artículo científico a principios de los años ochenta del siglo XX con la impresión de estructuras moleculares en hojas insertadas de papel de calidad especial. Este desarrollo se inscribe en un auge generalizado de lo visual en todos los ámbitos que ha despertado gran interés también en el ambiente académico abocado a conocer más a fondo este fenómeno cultural y que se empeña en desarrollar nuevos marcos teóricos y herramientas para el análisis de las imágenes bajo el enfoque de *iconic turn*.¹

1 También se usa *pictorial turn*. Ambos son términos acuñados en analogía a *linguistic turn*. Véase Mitchell, W. J. T., *Picture theory: Essays on visual and verbal representation*, Chicago and London: University of Chicago Press, 1994 y Boehm, Gottfried, *Was ist ein Bild?*, München: Fink, 1994.

LO VISUAL EN LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA

Por parte de la bibliotecología y en el ámbito bibliotecario, el estudio de las ilustraciones en artículos científicos no ha recibido mayor atención ya que para estos escritos habitualmente se parte de una subordinación de la imagen al texto o, al menos no se les concede el estatus de imágenes que merezcan tratamiento de material gráfico, ni se toman en cuenta en los servicios referenciales y, menos aún, se consideran como objetos visuales en cierta manera autónomos, dotados de su propio lenguaje y su propia retórica visual.

Esta situación encuentra su principal explicación en el paradigma dominante y en las concepciones que siguen rigiendo en la bibliotecología acerca del artículo científico (también llamado *de investigación*) y el lugar central que a éste se le asigna en el proceso de validación, certificación y registro del conocimiento científico.² Aun cuando por las posibilidades de la publicación electrónica se encuentra bajo cuestionamiento en su forma actual, el artículo científico publicado en una revista impresa sigue siendo hoy en día el medio *por excelencia* de la comunicación científica formal, y publicar en una revista de prestigio internacional y de *alto impacto* es la aspiración y el deber de los científicos en busca de reconocimiento, recompensa y fondos para poder seguir investigando.

Anteriormente a la publicación de las primeras revistas científicas a mediados del siglo XVII habían prevalecido las comunicaciones personales entre científicos o escritos reproducidos con tiraje limitado, pero en la medida en que las sociedades científicas en las que se agrupaban los científicos crecían, esta forma de comunicación ya no podía cumplir de manera efectiva su cometido.³ Mientras los primeros artículos científicos tenían un carácter predominantemente descriptivo, a partir de la segunda mitad del siglo XIX se convirtieron en un texto extremadamente normado en cuanto forma y estilo, y limitado en cuestiones de espacio. En su propósito de permitir una lectura rápida y efectiva de los resultados definitivos de investigación, necesidad imperiosa sobre todo considerando la cantidad enorme de artículos que tendría que leer un científico para estar al tanto de investigaciones afines en todo el mundo, se generalizó durante la segunda mitad del siglo XIX un formato

2 Véase Day, Robert A., *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 5ª. Ed., 1998, p. 8 y 10.

3 El crecimiento exponencial de la actividad científica en todas las áreas del conocimiento a lo largo de los siglos posteriores produjo también una explosión en la publicación de revistas científicas, muchas de las cuales tenían un grado altísimo de especialización. A principios de los años ochenta del siglo XX ya se hablaba de la existencia de unas 70,000 revistas científicas y técnicas (King *et al.*, 1981, referido en Day, *op. cit.*, p. 5) cifra probablemente exagerada si se aplica una definición rigurosa de revista científica, pero que da testimonio de la cantidad exorbitante de información científica y técnica que se produce actualmente.

adecuado al reporte de investigación surgido de las ciencias experimentales, que se uniformó en 1972 al erigirse en norma el formato IMRAD⁴ por parte del American National Standards Institute (ANSI)⁵ y que, aunque implique variaciones o adaptaciones según la revista de que se trate, sigue dominando la estructura del artículo científico.

Para lograr la requerida efectividad⁶ en la comunicación, un artículo científico debe presentar las ideas y la información de manera *objetiva, precisa, clara, concisa, uniforme, fácilmente entendible y honesta*, calificativos que los autores especializados en el tema comparten,⁷ y para tal fin:

“El artículo científico moderno ha desarrollado un lenguaje especial así como un estilo de prosa adaptado para una comunicación efectiva con otros profesionales dedicados a investigaciones similares”.⁸

A pesar de que la actividad científica es colectiva⁹ y se lleva a cabo por seres humanos, no se usa la conjugación en primera persona en su redacción, sino que se impuso la forma impersonal persiguiendo una supuesta mayor objetividad. Últimamente, algunos autores han roto con estas convenciones, pero aún son pocos. Predomina la posición de que

“El estilo impersonal de estos artículos es precisamente para enfocar la atención del lector en las cosas del laboratorio y el mundo natural, en lugar de poner la atención del lector sobre el texto mismo o su autor”.¹⁰

4 Estructura de un artículo científico: I Introduction / M Materials & Methods / R Results/ A And / D Discusión.

5 ANSI 3.2 Z39.16, 1972 y 1979.

6 No está por demás mencionar que estas normas fueron impuestas a los científicos y a veces quienes escriben sobre cómo escribir en ciencia son los que más defienden estas normas y vigilan su cumplimiento, exigidos por los editores de las revistas y secundados por los evaluadores de la ciencia.

7 Véase Molestina Escudero, Carlos J., “Los escritos científicos”, en Carlos J. Molestina (comp.), *Fundamentos de comunicación científica y redacción técnica*, San José, C.R.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1988, p. 30; Day, *op. cit.*, p.1 y 13, UNESCO, *Guide for the preparation of scientific papers for publication.*, París: UNESCO, 29 de agosto de 1968 p. 2. Cabe subrayarse que el documento de la UNESCO es el único que incluye la noción de honestidad.

8 Gross, Alan y Joseph E. Harmon, “What’s right about scientific writing”, en *The Scientist*, vol. 13, núm. 24, 6 de diciembre de 1999., p. 20

9 Esto no solamente porque en las ciencias experimentales los científicos trabajan en laboratorios, lo que implica trabajar necesariamente en equipo. Los nuevos conocimientos no se generan sin conocimientos anteriores; el conocimiento es acumulativo. Puede haber saltos o retrocesos y pueden existir individuos que descubren algo nuevo de manera dislocada, pero la asimilación de estos nuevos conocimientos y su inserción en los paradigmas de la época dependen de una empresa colectiva.

10 Gross, Alan y Joseph E. Harmon, *op. cit.*, p. 20.

Y muchos coinciden con Robert A. Day¹¹ que en los escritos científicos hay poca necesidad de adornos idiomáticos y que la ciencia es demasiado importante para que no sea comunicada en palabras de significado certero. Pero nada mejor que la cita de Katz¹², multicitado autor acerca de cómo escribir textos científicos, ilustra la posición dominante acerca del artículo científico:

“El propósito principal de un artículo científico no es hablar al corazón sino al cerebro”.

En la misma tónica de la devaluación de los sentimientos y de las emociones frente a la racionalidad se inscribe también cierto rechazo a las imágenes visuales declaradas en muchos casos como entes subjetivos y triviales frente al predominio del número y del concepto. Aquí naturalmente se trata de generalizaciones ya que no se olvida la importancia de la imagen técnica, sobre todo en las ciencias naturales, aunada a concepciones de verdad, evidencia y objetividad ligadas precisamente a su producción por instrumentos, ni la utilización ancestral de diagramas y modelos para representar fenómenos y teorías por parte de los científicos, y que juegan un papel fundamental en la construcción del conocimiento científico. Pero en el caso de las publicaciones académicas hay cierta validez general en lo que se refiere al mencionado rechazo a las imágenes que nos confirman Drott y Griffiths,¹³ al afirmar que el uso de fotografías a color y gráficas llamativas van en detrimento de la calidad de la revista. Este tipo de material colorido y atractivo se acepta generalmente para fines de divulgación científica y la enseñanza para reforzar la memorización y el entendimiento, pero no para una comunicación entre pares en revistas *serias*. Sin embargo, la realidad está cambiando visiblemente por lo que será necesario insertar las reflexiones acerca de las ilustraciones científicas en un ámbito más amplio, el del estudio de las imágenes visuales.

LAS ILUSTRACIONES CIENTÍFICAS Y SU ESTUDIO

Varias disciplinas tienen entre sus objetos de estudio las imágenes visuales. Tradicionalmente lo han sido la filosofía, que se preocupa por cuestiones de la representación, y la historia del arte con su iconología y sus enfoques

11 Day, *op. cit.*, p. 2.

12 Katz, Michael J., *Elements of the scientific paper. A step-by-step guide for students and professionals*, New Haven y London: Yale University Press, 1985, p. 15.

13 Drott and Griffiths, 1975, citados en Meadows Arthur J., “The evolution of graphics in scientific articles”, en *Publishing Research Quarterly*, vol. 7, núm 1, 1991.

estéticos. La psicología, las ciencias cognitivas y las neurociencias se dedican sobre todo a cuestiones de la visión y la percepción. Las ciencias de los medios y de la comunicación estudian los mensajes contenidos en las imágenes, mientras que la semiótica enfatiza los signos. A partir de los descubrimientos en las ciencias cognitivas, la imagen ha adquirido un papel fundamental dentro de la pedagogía en cuanto al aprendizaje y la memorización en la didáctica. La arqueología, la antropología y la etnología la estudian como objeto cultural, mientras que las disciplinas relacionadas con el arte y el diseño le dan mayor peso a la forma, el estilo y la composición.

En cuanto al estudio de las representaciones visuales en el ambiente de la investigación científica, recientemente los historiadores de la ciencia revaloraron las imágenes como objeto de estudio. Frente al *boom* que experimenta el estudio de las representaciones clásicas, Pang¹⁴ les recomienda a los historiadores de las representaciones visuales dedicarse ahora más a cuestiones de su producción y su uso en las ciencias, así como a la relación entre arte, ciencia y tecnología, una relación que, según afirma, cambia con el tiempo.

Dada la gran variedad de enfoques disciplinarios no se ha logrado todavía unificar las conceptualizaciones de lo que es y lo que no es una imagen. Pero entre los esfuerzos para conjuntar las aportaciones y buscar un enfoque generalmente aceptable, convence la propuesta más general de Hans Belting¹⁵ quien ofrece una conceptualización antropológica que une la imagen como artefacto técnico con la mirada humana, una conceptualización donde la imagen no existe sin su espectador: son entes inseparables. Hay constancia también en la apreciación de que la imagen, como objeto de estudio, es de naturaleza interdisciplinaria y su análisis completo requiere necesariamente considerar aspectos de su producción, su uso y su recepción, siempre en su respectivo contexto, el cual le da significado, cuestión que es pertinente tomar en cuenta también para el estudio de las ilustraciones científicas en los artículos de investigación.

Entre los especialistas en la comunicación de la ciencia se ha comenzado también a prestar más atención al material visual. En la literatura frecuentemente consultada en la bibliotecología destaca Meadows¹⁶ quien expone que:

“Un artículo científico moderno intenta presentar los resultados mediante una mezcla óptima de texto, cuadros y gráficos para una fácil extracción cognitiva de

14 Pang, Alex Soojung-Kim, “Visual representation and post-constructivist history of science”, en *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 27, 1997.

15 Belting, Hans, *Bild-Anthropologie. Entwürfe einer Bildwissenschaft*, München: Fink, 2001.

16 Meadows, Arthur J., “The evolution of graphics in scientific articles”, en *Publishing Research Quarterly*, vol. 7, núm 1, 1991.

la información y por tanto sostiene que no es posible analizar texto y gráficas por separado sino que forman un todo integrado”.

Asimismo enfatiza que en el caso de las ciencias experimentales “una tercera parte del espacio total dedicado al artículo en estas revistas puede consistir en gráficas”.¹⁷ Aunque Meadows no propone un estudio más profundo de estas ilustraciones hay que destacar su apreciación de que las gráficas hayan dependido más de los avances técnicos que la presentación o tipografía del texto.¹⁸

Si se trata de hacer un recuento de los factores de los que dependen las ilustraciones en textos científicos, se destacan los siguientes:

- Las tecnologías disponibles para su producción
- Los tipos de fenómenos o datos que se quieren representar
- Las disciplinas y sus lógicas internas
- Las modas

Entre las posiciones predominantes se encuentra sin duda el determinismo tecnológico. Ciertamente no se pueden publicar imágenes que no se pueden producir y no se puede negar que existe una relación dialéctica entre la tecnología y su apropiación que expresa tan acertadamente McLuhan.¹⁹

“Nosotros moldeamos las herramientas y después las herramientas nos moldean a nosotros”.

En cuanto a otros factores que influyen en la determinación de las ilustraciones es bueno recordar que el autor o los autores muchas veces pueden escoger entre varias posibilidades de representación. También existen grandes diferencias entre las llamadas ciencias *duras* y *blandas*, entre diferentes disciplinas del mismo ámbito y dentro de las disciplinas mismas con su subdisciplinas y especialidades, diferencias determinadas en gran parte por las prácticas y los paradigmas dominantes en cada campo. No se puede terminar esta sección sin mencionar en esta discusión que también cierto tipo de representaciones visuales se pueden poner de moda.

Lo que prevalece en la literatura especializada acerca de las imágenes científicas es anteponer su funcionalidad ante cualquier otra utilidad. Según

17 *Ibidem*.

18 *Ibidem*.

19 McLuhan, Marshall, *Understanding media: The extension of man*, London: Routledge, 1964.

Boehm,²⁰ la cuestión estética entra en vigor hasta que la imagen haya cumplido su función por la que ha sido creada y Peter Krieger,²¹ historiador de arte, enfatiza su función denotativa. Esta posición dominante encuentra su mayor “vigencia” en lo que se refiere a las ilustraciones científicas en los artículos científicos.

Sin embargo, existe un elemento que hay que tomar en consideración para la reflexión: el color. No hace mucho tiempo, el color era un elemento visual ausente en las imágenes científicas publicadas en revistas especializadas. Aunque técnicamente ya se podían producir e imprimir sin mayor impedimento, su publicación tardó mucho en concretarse.²² Aunque las imágenes científicas viven en una estrecha relación con las posibilidades tecnológicas, la causa de esta demora no se puede buscar únicamente en la tecnología disponible y los costos elevados que implica una edición a colores. Conviene recordar que por mucho tiempo el color se había considerado como algo frívolo para una ciencia *seria* y las imágenes a color se reservaban para la divulgación o para fines didácticos. Hoy, por el contrario, el color es un aspecto importante de las representaciones visuales de la ciencia²³ y juega su papel en la creciente esteticidad de las imágenes, lo cual se refleja también en la aparición de “galerías” de imágenes científicas en Internet y en la proliferación en los ámbitos de la publicación científica de concursos para presentar las mejores imágenes científicas. ¿A qué se puede atribuir esto?

LA IRRUPCIÓN DE LA ERA DIGITAL

Los trabajadores de la ciencia, desde sus inicios, se han servido de las representaciones pictóricas y gráficas para explicar y transmitir conocimientos, descubrimientos y teorías, así como también han buscado la visualización de objetos y fenómenos no perceptibles por el ojo humano para su mejor entendimiento

20 Boehm, Gottfried, “Zwischen Auge und Hand. Bilder als Instrumente der Erkenntnis”, en Bettina Heintz y Jörg Huber (eds.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich: Institut für Theorie der Gestaltung und Kunst, Edition Voldemeer, Zürich, Wien, New York: Springer Verlag, 2001.

21 Krieger, Peter, “Investigaciones estéticas sobre las ilustraciones científicas”, *Ciencia*, vol. 53, núm. 4, octubre-diciembre 2002.

22 La revista *National Geographic*, de carácter predominantemente visual, publicó su primera edición a todo color en 1948, mientras *Science* y *Nature* publicaban sus ediciones en estricto blanco y negro por mucho tiempo más. Inicialmente el color aparece allí en las portadas y en la publicidad pagada, pero es hasta los tempranos años 80 del siglo XX cuando se insertan las primeras ilustraciones a color en los artículos y demás contribuciones científicas con su impresión en páginas por separado y en papel de diferente calidad. La gran mayoría de las primeras ilustraciones a color correspondían a modelos de estructuras moleculares.

23 La inclusión de ilustraciones a color todavía se cobra en muchas revistas, pero los fondos para la investigación consideran frecuentemente también gastos de publicación.

y estudio, aunque la palabra escrita y el concepto, el número y la ecuación, hayan sido dominantes en el discurso científico moderno. Hoy se cuenta con nuevas posibilidades tecnológicas y herramientas computacionales que aumentan enormemente las posibilidades del uso y la producción de imágenes dada la facilidad de digitalización, edición y manipulación de ellas, su disponibilidad instantánea en las redes de comunicación y el abatimiento de los costos para su publicación también a todo color. Entre los avances destacan:

- La graficación por computadora, que ya no hace necesario dibujar los gráficos como antes, y los programas que ofrecen herramientas cada vez más sofisticadas con resultados visuales espectaculares. (Figura 1)

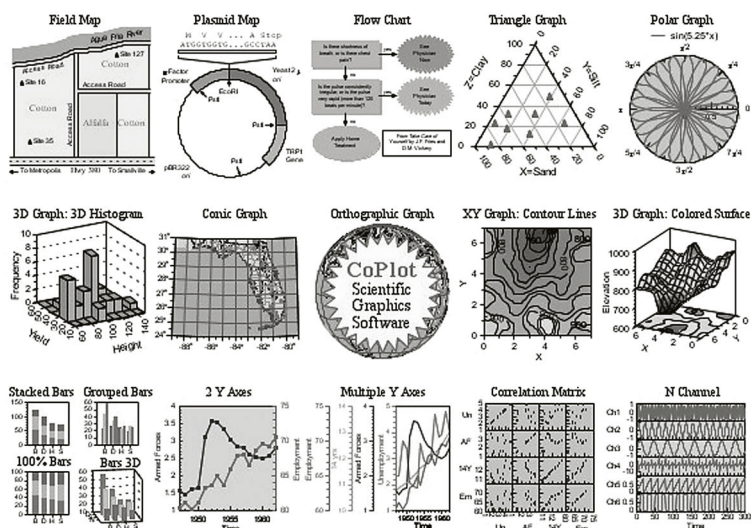


Fig.1: Gráficas que se pueden elaborar con el software CoPlot

- La fotografía digital, las técnicas de digitalización y los programas de edición de imágenes que facilitan su adquisición, mejora y manipulación, así como el cómputo añadido a los aparatos de visualización, los microscopios y telescopios cada vez más potentes que penetran el micro y el macrocosmos a profundidades y lejanías antes impensables con dispositivos de registro digital de datos, que posteriormente se procesan y se les aplican técnicas de edición de imágenes o de color falso (Figuras 2 y 3).

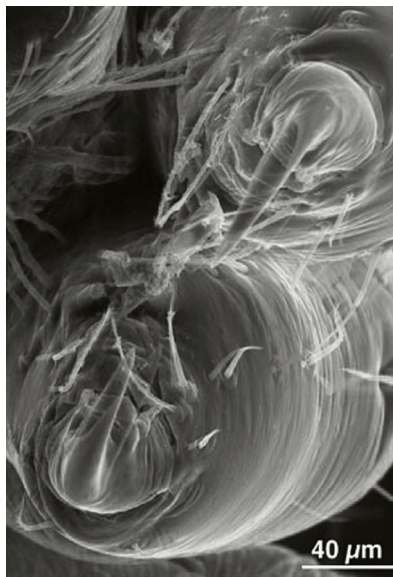


Fig. 2: Fotomicrografía de las patas de una araña. La aparente falta de definición se debe a que es la superposición de imágenes fuera de fase del objeto en rojo y verde con la finalidad de que el observador las vea en tercera dimensión

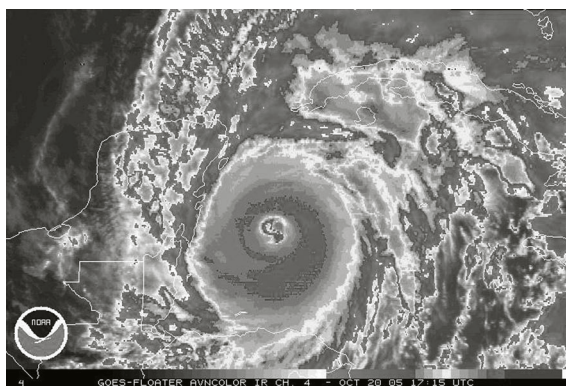


Fig. 3: Fotografía satelital en el infrarrojo del huracán Wilma con la aplicación de color falso

- El desarrollo mismo de las computadoras (*graphic workstations*) en cuanto a sus capacidades gráficas y el aumento de las capacidades de cómputo (*scientific computing, supercómputo*) que permiten análisis estadísticos multivariados (Figura 4), modelaciones y simulaciones (Figuras 5 y 6), y la exploración de correlaciones en series de datos (Figura 7).

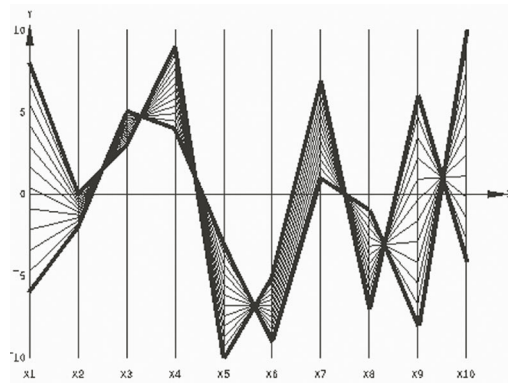


Fig. 4: Parallel Coordinates

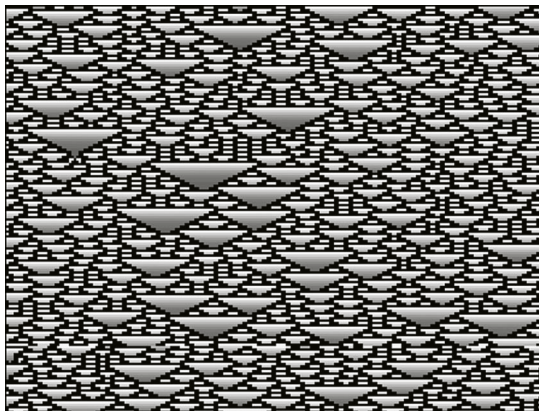


Fig. 5: Autómata celular

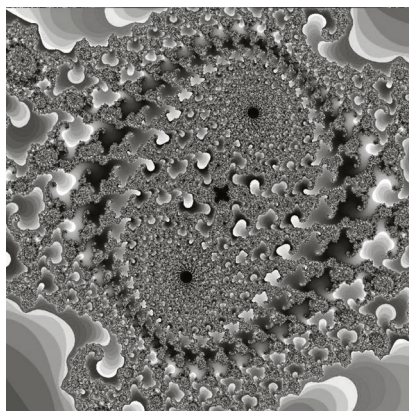


Fig. 6: Fractal

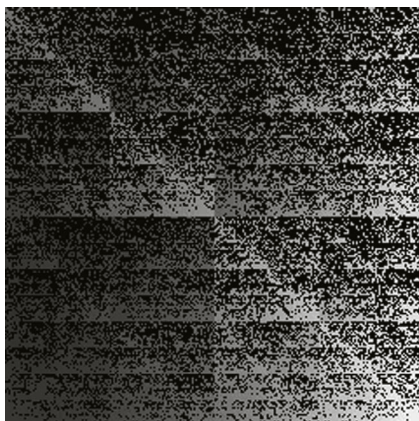


Fig. 7: Juego del caos en el DNA

- La Internet y la publicación electrónica que permite un acceso diferente a imágenes, así como la inclusión de animaciones

En el prefacio a la cuarta edición del libro sobre cómo escribir y publicar un artículo científico, que apareció en 1994, Robert A. Day argumenta que era necesario actualizar la edición de 1988 puesto que la ciencia y la manera de comunicarla habían sufrido cambios realmente revolucionarios en los años antecedentes a la nueva edición, Pero al mismo tiempo afirma que

“afortunadamente, los principios de la comunicación científica no han cambiado significativamente a pesar de los cambios tecnológicos que suceden con una rapidez que marea”,²⁴

¿Afortunadamente? ¿Por qué afortunadamente? Sin caer en la tentación de responder apresuradamente a estas preguntas provocativas,²⁵ sería bueno ahondar más en la pregunta acerca de los impactos que los avances tecnológicos podrían tener sobre la comunicación científica. El ámbito que potencialmente puede desencadenar un cambio más drástico con consecuencias para la comunicación científica es el derivado de las técnicas de visualización computacional que permiten, entre otras cosas, darle forma geométrica a datos abstractos, y crear imágenes sin referente físico alguno (como en las figuras 5, 6 y 7). La gran capacidad de cómputo y las imágenes resultantes que producen estos procesos podrían influir en la manera de hacer ciencia,

²⁴ *Ibidem*, p. xi.

²⁵ Pero quedan confirmadas las afirmaciones de la nota 6.

cambiar las concepciones acerca de las imágenes que produce la ciencia e incluso hacer temblar los paradigmas que rigen la comunicación científica en cuanto a la relación entre texto e imagen, y el peso que tiene la información visual frente al texto verbal.

LAS VISUALIZACIONES COMPUTACIONALES

La visualización, es decir hacer algo visible, no es nada nuevo. El advenimiento de la ciencia moderna es impensable sin el desarrollo de nuevas técnicas e instrumentos de visualización (microscopio y telescopio) que potenciaron la capacidad del ojo humano. También existen antecedentes importantes en la visualización de datos, como lo demuestra el diagrama clásico de Charles Joseph Minard elaborado en 1861, un mapa bidimensional (Figura 8) que muestra los efectivos del ejército napoleónico en su avance y retirada de Rusia, donde el grosor de las líneas es proporcional a los supervivientes en ese momento, mientras el gráfico inferior muestra simultáneamente las temperaturas sufridas durante la retirada.

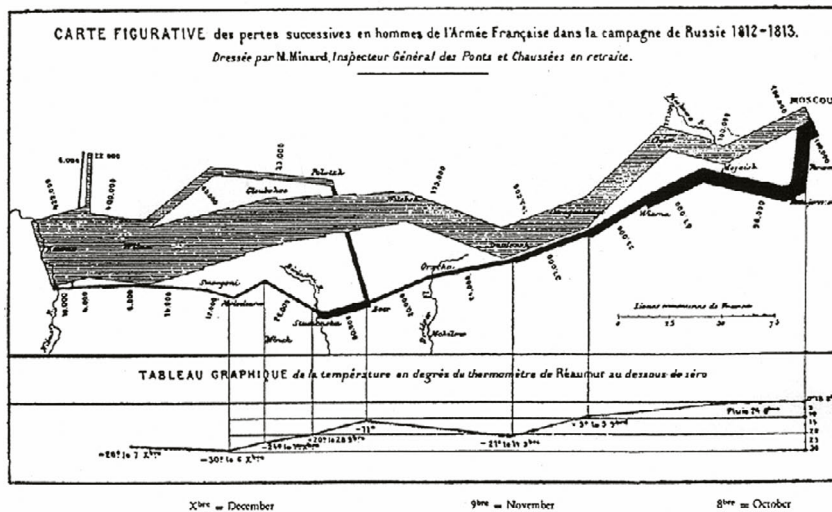


Fig. 8: La campaña napoleónica de Rusia 1812-1813

La visualización computacional de datos e información, sin embargo, apenas llega a dos décadas de existencia.²⁶ Es una rama de la graficación

26 Véase Card, Stuart *et al.* (eds.), *Readings in information visualization. Using vision to think*, San Francisco: Kaufmann, 1999.

por computadora que conjunta técnicas de procesamiento de imágenes, la visión por computadora, el diseño asistido por computadora y la modelación geométrica, y que integra aportes de la teoría de la aproximación, la psicología de la percepción y el estudio de interfaces para el usuario. Podemos distinguir la visualización computacional de la visualización científica la cual se encarga de hacer visible lo invisible para el ojo humano, mientras que la visualización computacional implica un proceso de transformación en el cual los datos adquiridos por mediciones o simulaciones así como los conocimientos no espaciales son inherentemente convertidos en una forma visual que permite estudiar y entender esta información. Podemos decir así que la visualización computacional visualiza lo oculto (por ejemplo, patrones en grandes cantidades de información) o visualiza lo inobservable mediante modelaciones y simulaciones. Su esencia queda expresada en las siguientes citas:

“El propósito de la computación es la comprensión,²⁷ no los números”.²⁸

“La visualización es un método computacional. Transforma lo simbólico en lo geométrico, lo que le permite al investigador observar sus simulaciones y cálculos. La visualización ofrece un método para ver lo no antes visto. Enriquece el proceso del descubrimiento científico y fomenta la comprensión profunda e inesperada. En muchos campos ya está revolucionando la manera en que los científicos hacen ciencia”.²⁹

“La visualización científica no se reduce a gráficas bonitas por computadora [...] Se trata más bien de exploración y descubrimiento –de la búsqueda por hallarle sentido a grandes conjuntos de datos numéricos y físicos que representan una lista sin fin de fenómenos naturales”.³⁰

Mientras las primeras técnicas de visualización computacional eran muy sofisticadas y necesitaban de un equipo de especialistas en cómputo, bases de datos y del área de la investigación científica involucrada, hoy, a pesar de algunas excepciones, es posible que un número cada vez mayor de científicos pueda hacer uso directo de esta tecnología mediante *softwares* comerciales y

27 En inglés *insight*.

28 Cita famosa del matemático Richard W. Hamming.

29 McCormick, B. *et al.*, “Visualization in scientific computing”, en *Computer Graphics*, vol. 21, núm 6, noviembre 1987.

30 Mahoney, Diana Phillips, “Unlocking the mysteries of science”, en *Computer Graphics World*, July 1995.

abiertos. Pero lo que importa es que las imágenes resultantes de la visualización computacional son parte de la investigación misma; no son producidas para fungir como registro del objeto de estudio, ni para presentar resultados finales, sino para entender y descubrir. Como ejemplo, dos visualizaciones (Figura 9 a y b) que le dan forma y color al viento:

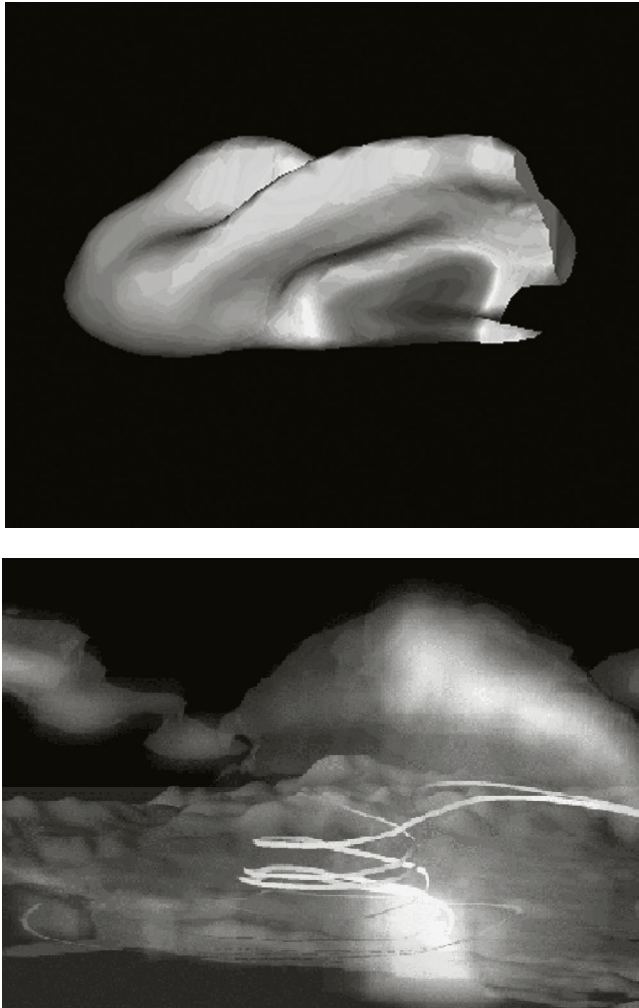


Fig. 9 (a y b): Visualizaciones de tormentas

SCIENCE Y NATURE: UN ESTUDIO DE CASO PARA LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS

Para elaborar conjeturas más precisas acerca de los impactos de la era digital sobre la comunicación científica formal, es necesario conocer la situación actual que reina en las publicaciones científicas por lo que se refiere a las ilustraciones en la comunicación de los resultados de investigación.

A continuación se presentan algunos resultados del análisis realizado sobre 102 artículos de investigación publicados en el año 2003 en las revistas de alto impacto *Nature* y *Science*³¹ dado que tienen un alto prestigio y una larga tradición y, lo que es lo más relevante, representan la cultura científica dominante. Ambas se publican simultáneamente en versión impresa y electrónica, lo que nos ofrece la oportunidad de hacer una comparación minuciosa. Para no soslayar la lógica interna de cada disciplina, se analizaron solamente artículos relativos a las ciencias biológicas que por lo demás predominan en las revistas citadas, las cuales cuentan con una larga tradición de ilustración científica. Además, aparte de las potencialidades que constituyen las nuevas tecnologías de creación de imágenes, las computadoras permiten hoy explorar inmensas bases de datos y hacerlas accesibles mediante la percepción cognitiva: una imagen. Si pensamos en la gran acumulación de datos biológicos de los que se dispone actualmente, y que constituyen un enorme caudal de información no procesada, no podemos negar que existe un gran potencial de explotación visual capaz de generar nuevos conocimientos.

En el análisis cuantitativo de los artículos incluidos en la muestra se midió primero lo que llamamos *cuerpo*; es decir, excluimos el título, el *abstract*, las notas y las referencias³² por considerarlos que no tenían relevancia para hacer el análisis de las ilustraciones. Para poder ignorar las diferencias en *layout* y tipografía que existen en las dos revistas, los resultados de estas mediciones siempre se manejaron como proporciones relativas.

Como el artículo científico es un texto normado con mucha presión en lo que se refiere al espacio, se incluyeron en promedio únicamente cinco³³ conjuntos ilustrativos³⁴ (aunque esto no dice todavía nada acerca de sus tamaños

31 Este análisis se realizó en el marco de mi investigación doctoral en proceso que lleva por título "El uso de ilustraciones en revistas científicas", Doctorado en Bibliotecología y Estudios de la Información, México, Facultad de Filosofía y Letras-CUIB, UNAM.

32 Con la aparición de las versiones electrónicas paralelamente a la publicación impresa también se inició la publicación de información suplementaria (Supplementary Online Material-SOM). Por ejemplo la revista *Science* ya no publica la sección de métodos en la versión impresa. Para uniformar el análisis de los artículos no se incluyó la sección de métodos de *Nature* en el análisis del cuerpo.

33 Las revistas recomiendan de 5 a 6 figuras como máximo.

34 Se prefirió hablar de conjuntos ilustrativos en lugar de "figuras" para resaltar que se componen de una o más imágenes, más su respectiva leyenda.

y contenidos) y un solo cuadro. En la muestra, un artículo promedio se conforma de un 55% de texto, un 4% de cuadros y un 41% de conjuntos ilustrativos de los cuales un 31% corresponde a imágenes y un 10% a leyendas (Cuadro 1).

Cuadro 1: Componentes del cuerpo (%) a partir de las ilustraciones

	Artículo con mínimo % de ilustraciones	Artículo promedio %	Artículo con máximo % de ilustraciones
Texto	84	55	36
Cuadros	12	4	0
Conjuntos ilustrativos	4	41	64
Imágenes	(2)	(31)	(51)
Leyendas	(2)	(10)	(13)
Cuerpo Total	100	100	100

Se puede apreciar que en el caso de los conjuntos ilustrativos existe una variación muy grande alrededor de la media. En la gráfica de la Figura 10 podemos observar precisamente que existen casos extremos que habrá que analizar con detenimiento ya que muchas veces las anomalías nos enseñan más que las regularidades.

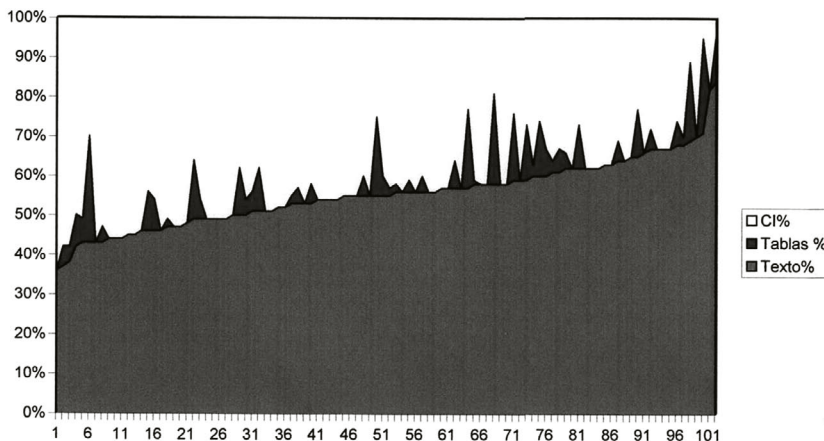


Fig. 10: Composición del cuerpo (102 artículos)

En cuanto a la composición de un conjunto promedio, éste se compone de 76% de imagen y un 24 % de leyenda, es decir, predomina la imagen sobre la leyenda (Figura 11).

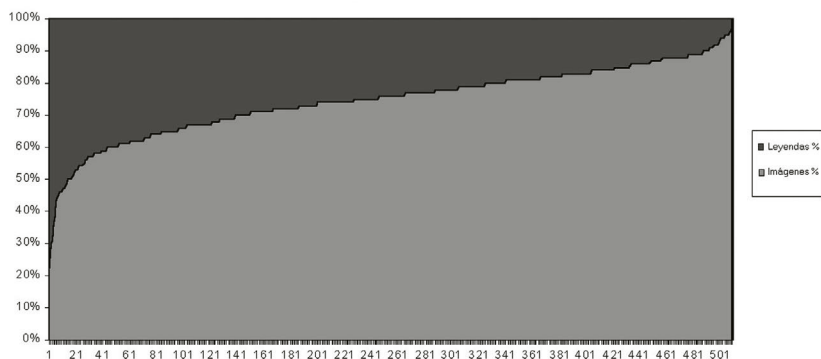


Fig. 11: Composición de conjuntos ilustrativos (510 casos)

Los casos extremos de excepción corresponden sobre todo a *overviews* de mapas genómicos (Figura 12) publicados en hojas plegables aparte, como las primeras ilustraciones a color de las que hablamos anteriormente, así como a otras visualizaciones que se pueden apreciar en la Figura 13.

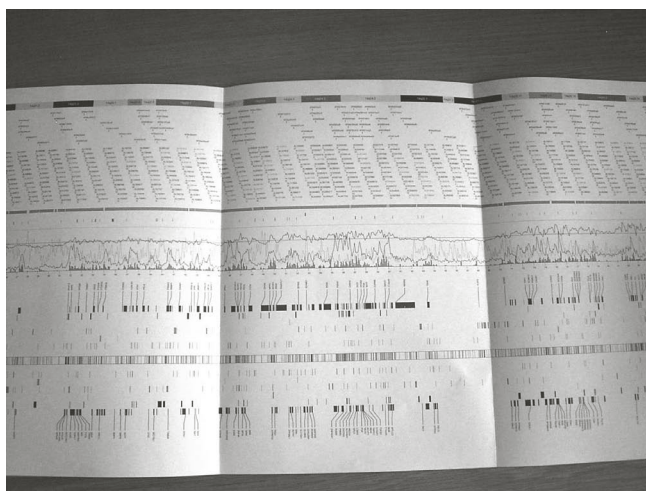


Fig. 12: Overview genómico

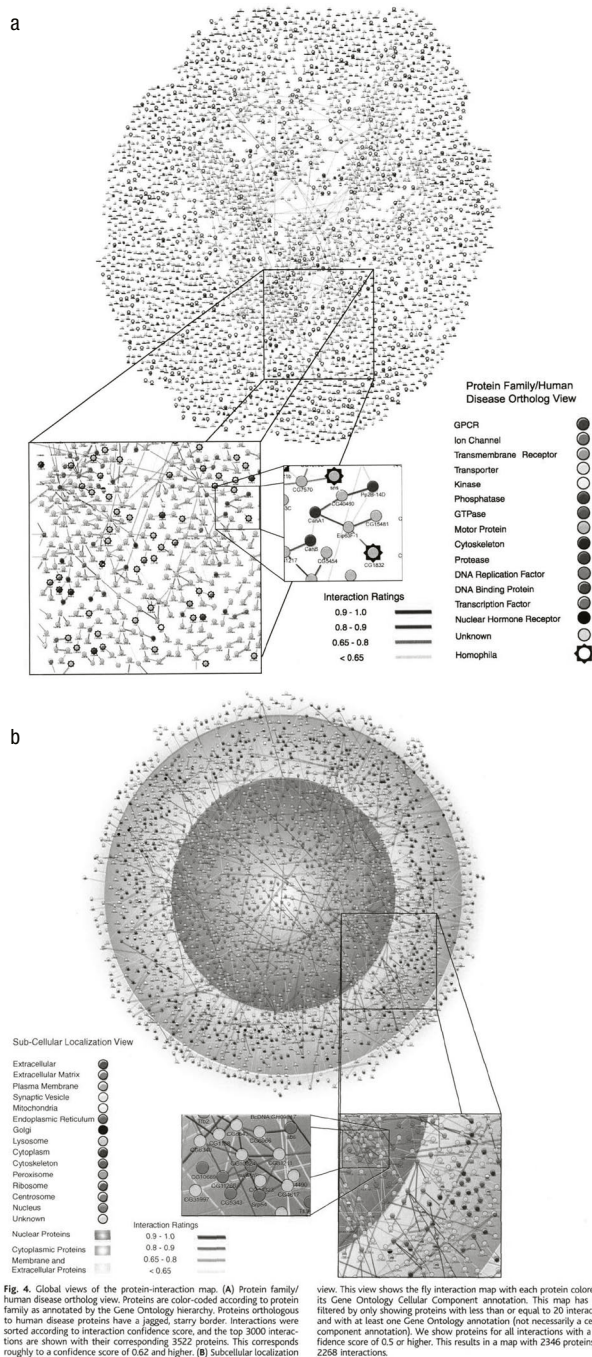


Fig. 13 (a y b): Mapa de interacción de proteínas

En cuanto a la comparación entre las versiones impresas y electrónicas, tanto *Science* como *Nature* ofrecen dos formatos electrónicos: PDF (Portable Data Format) y texto completo en HTML (HyperText Markup Language). Ambas revistas indican al final del artículo impreso si existe un suplemento electrónico con información adicional (SOM) y su correspondiente dirección electrónica en Internet, pero solamente *Science* especifica su contenido. El 81% de los artículos cuenta ya con un suplemento electrónico y un 74% del total de los artículos analizados incluye ilustraciones adicionales al texto impreso, y esto con una cantidad muy variada que va de uno como mínimo, a 27 como máximo. Cabe resaltar que ya empiezan a introducirse poco a poco imágenes en movimiento.

La versión PDF es idéntica al artículo impreso donde una página constituye una unidad visual que permite el acceso visual inmediato a las ilustraciones o mediante referencias en el texto. Para poder leer bien el texto y apreciar las ilustraciones en PDF es necesario frecuentemente hacer un acercamiento. El texto completo en HTML se distingue por ser un texto continuo interrumpido por ilustraciones con imágenes pequeñas (*thumbnails*) que se pueden agrandar o se puede llegar a las ilustraciones mediante ligas en el texto que llevan directamente a imágenes con resoluciones intermedias que se pueden desplegar nuevamente en alta resolución.

Solamente *Nature* ofrece un índice de las ilustraciones en un *frame* por separado, pero no incluye ligas a ilustraciones contenidas en los suplementos (SOM). En el análisis específico de las ilustraciones se encontró que solamente una pequeña fracción de los conjuntos ilustrativos contienen una sola imagen o gráfica con su leyenda, o algunas ilustraciones bien delimitadas y etiquetadas cada una con las letras *a b c*, como lo recomiendan las revistas para “figuras compuestas”. Por el contrario, se encontraron conjuntos ilustrativos con una gran variedad de representaciones visuales (Figura 14), con multitudes de micrografías (Figura 15) y los llamados *overviews* en hasta cuatro hojas desplegables impresas aparte en papel distinto como vimos anteriormente (Figura 12).

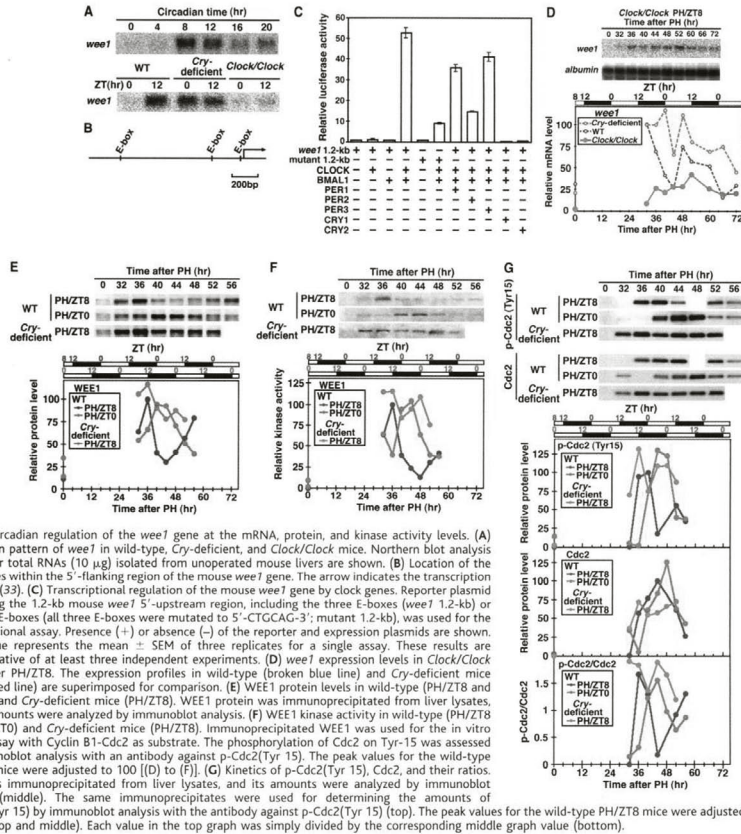


Fig. 4. PER2 protein expression in proliferating hepatocytes. (A) Immunofluorescence analysis (red) showing the temporal expression profile of PER2 protein in unoperated control livers. Nuclei were counterstained with 4',6'-diamidino-2-phenylindole (blue). (B) Nuclear PER2 accumulation (red) in BrdU-stained (green) and unstained hepatocytes at regular time intervals after PH/ZT8. Scale bars, 30 μ m.

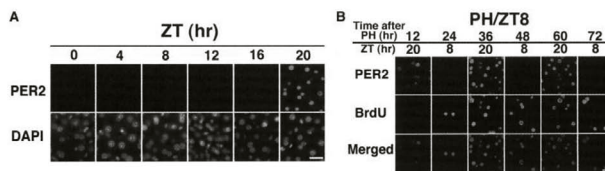


Fig. 14

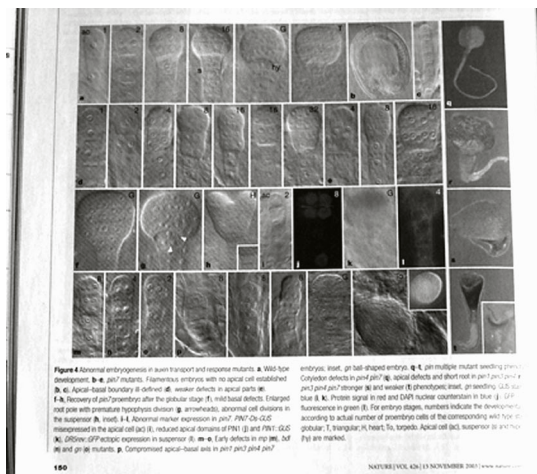


Fig. 15

Para captar el contenido de cada conjunto ilustrativo hemos ideado una clasificación de los conjuntos, ya que la asignación de letras para indicar los componentes de un conjunto no sirve para enumerarlos, pues su aplicación no es uniforme ni consistente por parte de los autores.

La clasificación propuesta se desglosa como sigue:

Clases de conjuntos ilustrativos

SID	Single Image Display
MID	Multiple Image Display

Clases de componentes³⁵

S	Simple
nS	No Simple
D	Densificado
C	Compuesto
A	Aglutinado
CO	“Complejo”

³⁵ Se usa la clase *Simple* cuando una imagen viene sola. *Densificado* significa una o más imágenes dentro de una. *Compuesto* es un componente cuando se trata de imágenes que vienen juntas visual y lógicamente. *Aglutinado* se usa cuando las imágenes se encuentran en una estructura o ejes cartesianos donde importa la posición. *Complejo* es una clase que ideamos para casos donde la colocación de varias imágenes constituye un argumento visual (esta categoría está todavía a prueba).

Para entender mejor esta clasificación, se presentan algunos ejemplos típicos:

Fig. 4. Summary of response indices indicating the selectivity of inhibitory responses. Response indices of 19 units that were significantly inhibited by at least one stimulus animal are indicated by green bars. Conventions used are the same as in Fig. 3H.

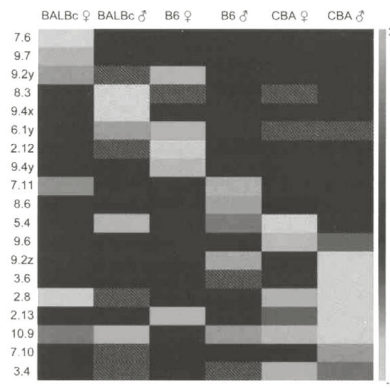


Fig. 16: SID-S

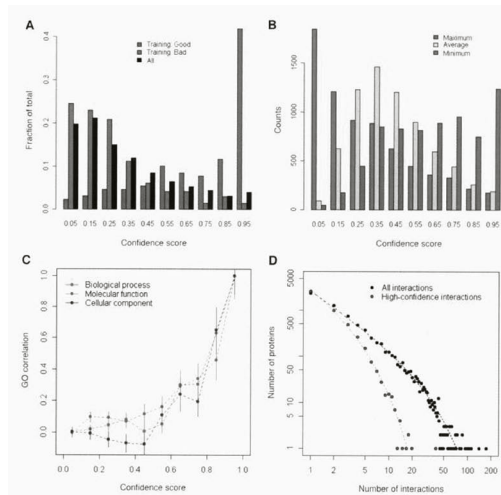


Fig. 2. Confidence scores for protein-protein interactions (A) *Drosophila* protein-protein interactions have been binned according to confidence score for the entire set of 20,405 interactions (black), the 129 positive training set examples (green), and the 196 negative training set examples (red). (B) The 7048 proteins identified as participating in protein-protein interactions have been binned according to the minimum, average, and maximum confidence score of their interactions. Proteins with high-confidence interactions total 4679 (66% of the proteins in the network, and 34% of the protein-coding genes in the *Drosophila* genome). (C) The correlation between GO annotations for interacting protein pairs decays sharply as confidence falls from 1 to 0.5, then exhibits a weaker decay. Correlations were obtained by first calculating the deepest level in the GO hierarchy at which a pair of interacting proteins shared an annotation (interactions involving unannotated proteins were discarded). The average depth was calculated for interactions binned according to confidence score, with bin centers at 0.05, 0.1, ..., 0.95. Finally, the correlation for the bin centered at x was defined as $[\text{Depth}(x) - \text{Depth}(0)] / [\text{Depth}(0.95) - \text{Depth}(0)]$. This procedure effectively controls for the depth of each hierarchy and for the probability that a pair of random proteins shares an annotation. (D) The number of interactions per protein is shown for all interactions (black circles) and for the high-confidence interactions (green circles). Linear behavior in this log-log plot would indicate a power-law distribution. Although regions of each distribution appear linear, neither distribution may be adequately fit by a single power-law. Both may be fit, however, by a combination of power-law and exponential decay: $\text{Prob}(n) \sim n^{-\alpha} \exp(-\beta n)$, indicated by the dashed lines, with r^2 for the fit greater than 0.98 in either case (all interactions: $\alpha = 1.20 \pm 0.08$, $\beta = 0.038 \pm 0.006$; high-confidence interactions: $\alpha = 1.26 \pm 0.25$, $\beta = 0.27 \pm 0.05$). Note that the power-law exponents are within 1σ for the two interaction sets.

Fig. 17: MID-S (S-S-S-S)

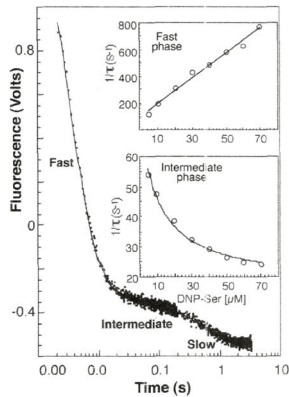


Fig. 3. Pre-steady state fluorescence quenching of SPE7 on addition of DNP-Ser (20 μ M) fitted to three exponentials (27). The three phases (fast, intermediate, and slow) roughly separate into time scales of 0.01, 0.1, and 1 s, respectively. Similar experiments were performed at different DNP concentrations ranging from 10 to 70 μ M. The three phases were separated and fit independently to a single exponential to give the observed rate constants ($1/\tau = k_{obs}$). (Upper inset) $1/\tau$ from the fast phases plotted against ligand concentration and fit to a standard bimolecular association model: $1/\tau_1 = k_{obs} = k_{-2} + k_2[L]$, where $[L]$ is the ligand concentration to give $k_2 = (9.5 \pm 0.5) \times 10^6 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$, $k_{-2} = 96 \pm 20 \text{ s}^{-1}$, and an equilibrium constant of $K_2 = k_2/k_{-2} = (1 \pm 0.26) \times 10^5 \text{ M}^{-1}$. (Lower inset) $1/\tau$ from the intermediate phases was fit to a pre-equilibrium model (17): $1/\tau_2 = k_{obs} = k_1 + k_{-1}(K_2/[L] + K_2)$, where $K_2 = k_2/k_{-2}$ to give $k_1 = 17 \pm 1 \text{ s}^{-1}$, $k_{-1} = 58 \pm 3 \text{ s}^{-1}$ and $K_2 = (1.9 \pm 0.6) \times 10^{-5} \text{ M}$. This value of K_2 is only about twice as high as that obtained by the independent fit of the fast phase $[(1 \pm 0.26) \times 10^5 \text{ M}^{-1}]$. Furthermore, when the former value of K_2 $[(1 \pm 0.26) \times 10^5 \text{ M}^{-1}]$ is introduced into the pre-equilibrium model, values within the error range for k_1 and k_{-1} are obtained.

Fig. 18: SID-nS (D)

Si se analizan las clases de conjuntos encontrados, se puede percibir un fenómeno interesante: en los artículos impresos, la clase SID; es decir conjuntos de una sola imagen, constituye el 20%, mientras que los suplementos online (SOM) llega a casi el 60% (cuadro 2).

Cuadro 2: Comparación de artículos impresos y suplementos electrónicos en relación a las clases de conjuntos ilustrativos que contienen

	Art	Art	Som	Som
SID-S	15 %	20 %	32 %	59 %
SID-nS	5 %		27 %	
MID-S	35 %	80 %	21 %	41 %
MID-nS	45 %		20 %	
Total	100 %	100 %	100 %	100 %

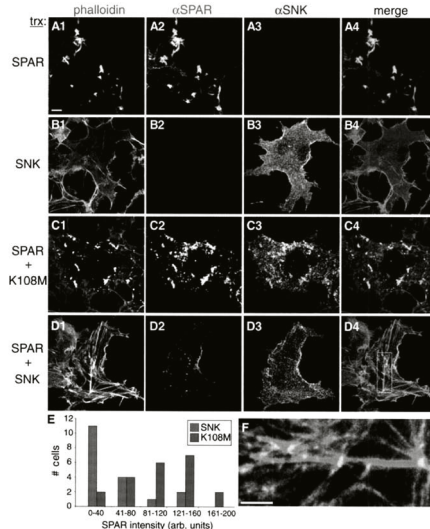


Fig. 3. SNK inhibits SPAR-mediated reorganization of actin cytoskeleton. COS cells were transfected with (A) myc-tagged SPAR alone, (B) hemagglutinin (HA)-tagged SNK alone, (C) myc-SPAR and HA-SNK(K108M), and (D) myc-SPAR and HA-SNK. Cells were immunostained with myc and HA antibodies and counterstained with phalloidin-oregon green to visualize F-actin. Individual channels (green, red, and blue as indicated at top) are shown in gray scale; merged image is shown in color in right-most column (colocalization of green, red, and blue appears white). (E) Distribution of fluorescence intensities of SPAR immunoreactivity per cell cotransfected with SNK (blue) or SNK(K108M) (red). (F) Higher magnification view of the boxed region in (D4), showing remaining SPAR puncta associated with F-actin. Scale bar, 10 μ m.

Fig. 19: MID-nS (A-S-S)

En cuanto a la cantidad de ilustraciones que contiene un conjunto ilustrativo y el espacio que ocupan, podemos ver cierta rebelión de los autores contra las limitaciones para incluir ilustraciones al utilizar estrategias como la densificación, la aglutinación y la aglomeración. Esto se ve confirmado por el hecho de que existe un comportamiento diferente en espacios menos normados y sin límite de extensión como los de los suplementos electrónicos (SOM).

También se encontró que existen ilustraciones con muy poco texto en la leyenda en tanto que toda la información es autocontenida, como por ejemplo los diagramas de flujo y los dendogramas (un tipo de visualización computacional que representa las relaciones basadas en la cercanía o la similitud entre los datos). Con las leyendas ocurre lo mismo que con las visualizaciones computacionales llamadas “mapas”, como los *heatmaps* (véase Figura 17), los mapas genéticos y más aún, los inmensos *overviews* genómicos, ilustraciones donde importa la posición de la información codificada, los cúmulos o los patrones encontrados. Mientras que los diagramas antes mencionados cuentan en la mayoría de los casos con toda la información en forma de relaciones lineales entre palabras, las visualizaciones del segundo tipo son fundamentalmente pictóricas y presentan la información *at a glance* (de un solo golpe de vista) y para obtener mayor entendimiento o profundización es necesario recurrir a información adicional. Notamos que a veces en la versión impresa ni siquiera es posible apreciar bien todo el contenido de las ilustraciones porque se trata de reproducciones de pantallas de computadora o de imágenes de poca resolución o que tienen tanta información que sería imposible desplegarla sin ocupar espacios inmensos, problema que se resuelve en la mayoría de los casos en las versiones electrónicas. Se puede aventurar aquí la conjetura de que las tres versiones (impresa, PDF y HTML) en realidad no solamente se leen de manera diferente, sino que también su lectura sirve a propósitos distintos. Mientras que la versión impresa permite obtener una idea global de los contenidos y su lectura habitualmente no es lineal, paradójicamente el texto electrónico tal vez se lea de manera más lineal aunque use las ligas para agrandar las ilustraciones, en tanto que la versión en PDF es de mayor utilidad para imprimir un artículo de interés.

Lo que también llama la atención es que a veces no hay una clara distinción entre cuadros y algunas representaciones visuales de presentación tabular (aunque no de información numérica), y hay ocasiones en las que figuran como cuadros y otras como figuras. También en algunos casos se están borrando las diferencias entre lo que es texto y lo que es imagen, como por ejemplo en el caso de las alineaciones de secuencias genéticas o de aminoácidos (Figura 20) donde el color añade un elemento gráfico al texto y lo convierte de *facto* en imagen.

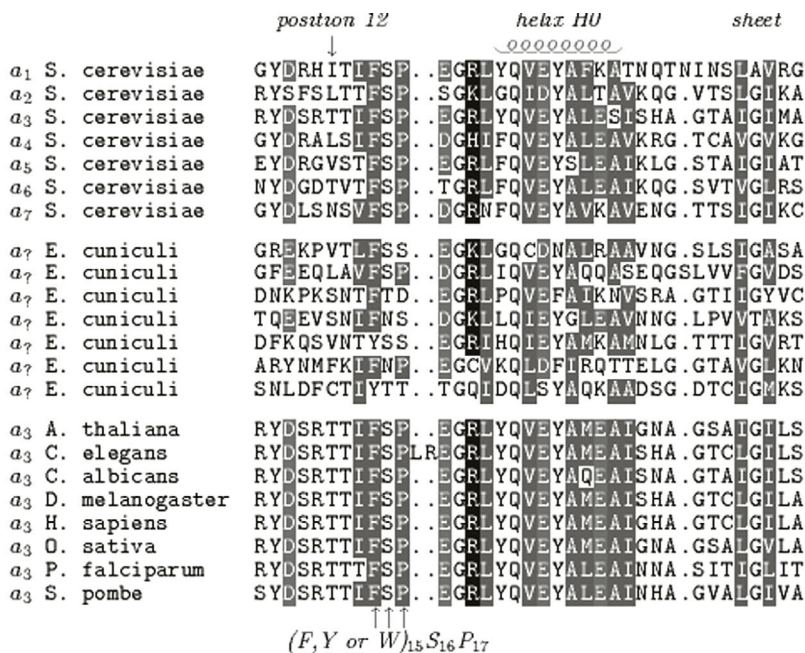


Fig. 20: Alineación de secuencias de aminoácidos

Otro fenómeno interesante, resultante del análisis, y que hay que revisar a profundidad, es que al parecer existe una fuerte correlación entre el tipo de ilustraciones y las técnicas y la metodología de la investigación reportadas que se hacen patentes si distinguimos entre los enfoques naturalistas, experimentales y teóricos de las investigaciones biológicas.

SIGNIFICADO PARA LA BIBLIOTECOLOGÍA

Conocer el comportamiento de las ilustraciones en una fuente de información tan importante como los artículos científicos es un aspecto que tiene potencialidades insospechadas. Y si se reflexiona acerca de las implicaciones directas los resultados presentados pueden ofrecer algunas recomendaciones inmediatas:

1. Con la aparición de versiones electrónicas simultáneas a la revista impresa, las bibliotecas se ven presionadas, por cuestiones de presupuesto o espacio físico, a escoger entre la revista impresa o la electrónica. Por lo menos para revistas como *Science* y *Nature* podemos afirmar

que hoy en día todavía está justificada la publicación de las diferentes versiones, porque en realidad tienen funciones y son leídas con propósitos un tanto distintos y por lo tanto es recomendable ofrecer el acceso a ambos formatos. En un futuro no muy lejano se podría perder la necesidad de publicar la versión impresa, pero también la versión electrónica tendría que cambiar haciendo más fácil su lectura y, permitiendo un acceso directo a las animaciones, cada vez más frecuentes, a las bases de datos y las técnicas utilizadas en la visualización computacional y considerando la interacción con los datos.

2. En cuanto a los servicios de consulta es de considerarse la preferencia de los usuarios de leer artículos impresos por lo que las impresoras a color se hacen indispensables en un buen servicio de documentación. También se tiene que garantizar por parte de los proveedores de bancos de datos el acceso libre y eficiente a las ilustraciones y los suplementos electrónicos y los equipos de las bibliotecas destinadas a consulta deberían ofrecer una adecuada velocidad de carga de archivos gráficos, una resolución alta en los monitores y los programas más usados para visualizar imágenes en movimiento.
3. En correspondencia con la importancia del material visual se tendrá que pensar en la prestación de servicios altamente especializados de información con personal con conocimiento acerca de las representaciones visuales del área de especialidad de la biblioteca o unidad de información.

Pero también puede estimular el planteamiento de nuevas preguntas, la formulación de nuevas hipótesis y la apertura de nuevas líneas de investigación bibliotecológica alrededor de los siguientes tópicos:

- Diseminación de información mediante imágenes
- Clasificación temática en base a las ilustraciones (inclusive automatizada)
- Estudios bibliométricos sobre la relación entre citas e ilustraciones
- Productividad y colaboración científica relacionadas con imágenes científicas
- Estudios sobre la densidad de información y la complejidad de material visual

ALGUNAS CONJETURAS GENERALES Y EL FUTURO

Las ilustraciones en la era digital presentan cada vez mayor *esteticidad*, por lo que se puede pensar en el regreso de lo mejor de la tradición de la

ilustración científica que vivía sin el imperativo de la separación entre arte y ciencia. Nociones como *information design* y *aesthetic computing* constatan que la vertiente estética actualmente no es un producto colateral, sino que forma parte de la imagen misma. Todavía los científicos externan excusas y argumentan que la belleza producida no era intencional, en tanto que sobreviven pautas que declaran a lo bello como trivial y menos científico. Pero las imágenes *calculadas*³⁶ revalúan lo visual en el ámbito académico y las liberan de su carga de trivialidad y subjetividad, al dar por un hecho que la creatividad desplegada en la creación de nuevas metáforas visuales forma parte esencial en la creación de nuevos conocimientos.

Las imágenes digitales y el manejo del color facilitan el aumento de la densidad de información contenida en las ilustraciones, y la animación y la interactividad permiten comunicar procesos y recrearlos respectivamente. Mientras antaño las ilustraciones pretendían reducir la complejidad para lograr un mejor entendimiento, ahora las visualizaciones computacionales pueden comunicarla directamente.

También es menester resaltar la mayor intervención de los científicos en la producción de ilustraciones y ya no es el ilustrador el intermediario. En los laboratorios mismos colaboran especialistas en la producción de material visual, y entre ellos está el experto en *imaging*.³⁷ Esta colaboración produce cambios recíprocos en las disciplinas participantes y provoca cambios en la manera de hacer ciencia y de comunicarla.

Naturalmente existen problemas con las imágenes en la era digital. Pueden prestarse a la manipulación o a intervenciones de edición exageradas que afectan su autenticidad. Esto significa también posibles dificultades en un proceso de dictaminación que no está normado para el material visual, y todavía los artículos no incluyen siempre la información sobre el proceso de creación de las imágenes, asunto que en realidad tendrá que formar parte sustancial de la sección de métodos en los artículos científicos.

Pero también es necesario reflexionar sobre el papel que juegan los científicos mismos como actores principales. El uso de material visual, sobre todo si se trata de imágenes impactantes, les es útil en el marco de una estrategia para diseñar políticas de cabildeo (*lobbying*) que les puedan allegar fondos para la investigación. La mayor inclusión de ilustraciones, y sobre todo las nuevas imágenes resultantes de técnicas computacionales, ayudan a visibilizar³⁸ la ciencia, sus aportes y sus descubrimientos para un público más amplio, y

36 Véase Kittler, Friedrich, "Schrift und Zahl: Die Geschichte des errechneten Bildes", en Christa Maar y Hubert Burda (eds.), *Iconic Turn*, Köln: DuMont 2004.

37 En efecto, con el *imaging scientist* se perfila el establecimiento de una nueva disciplina.

38 En el sentido de presencia y valoración, no en términos de divulgación científica.

permite elevar el estatus social de la ciencia. Tampoco se puede negar que las imágenes científicas bellas y coloridas y su utilización conforman una retórica visual destinada a impresionar y convencer —también a sus pares— y no solamente a comunicar neutralmente.

Todo esto conduce a la necesidad de repensar los paradigmas que rigen las concepciones acerca del artículo científico, y es precisamente allí donde radica la importancia de las ilustraciones y su estudio. Las siguientes citas permiten visualizar el futuro inmediato:

“Las imágenes serán más que ‘iluminaciones’ del texto. Las imágenes tienen su propio valor intrínseco. [...] Es interesante que en el proceso de dictaminación entre pares no existan reglas que dictaminen a las imágenes como objetos independientes”.³⁹

“...en los años venideros, las imágenes adoptarán un papel cada vez más importante en la comunicación de la información científica. [...] Este nuevo proceso en la comunicación de la ciencia producirá un estilo diferente de pensamiento periodístico mediante la aportación de herramientas visuales más fértiles e informativas, no únicamente para el público en general, sino también la comunidad científica en su conjunto. Esta nueva manera de pensar traerá consigo un respeto tardío pero bien merecido para el poder de la imagen”.⁴⁰

“...la práctica científica debería ser estudiada de una manera más general como consecuencia de actos tanto cognoscitivos como emocionales.”⁴¹

Y si en verdad es cierto que el papel de las emociones en la práctica científica será en las próximas décadas un tema central en la filosofía de la ciencia,⁴² entonces, contradiciendo a Michael Katz, los resultados de estas investigaciones habrán de convencernos por fin de que el artículo científico le habla tanto al corazón como al cerebro; y esto, sobre todo, gracias al poder de las imágenes.

39 Kircz, Joost G. y Hans E. Rosendaal, “Understanding and shaping scientific information transfer”, en Shaw/Morres (eds.), *Electronic publishing in science. Proceedings of the ICSU Press/Unesco expert conference*, París: Unesco, 1996.

40 Frenkel, Felice, “Technology enables new scientific images to emerge”, *Nieman Reports*, otoño 2002, pp. 29-30.

41 McAllister, James W., “Recent work on the aesthetics of science”, *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 16, núm. 1, 2002, p. 9.

42 *Ibidem*.

BIBLIOGRAFÍA

- Belting, Hans, *Bild-Anthropologie. Entwürfe einer Bildwissenschaft*, München: Fink, 2001.
- Boehm, Gottfried (ed.), *Was ist ein Bild?*, München: Fink, 1994.
- Boehm, Gottfried, "Zwischen Auge und Hand. Bilder als Instrumente der Erkenntnis", en Bettina Heintz y Jörg Huber (eds.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich: Institut für Theorie der Gestaltung und Kunst, Edition Voldemeer, Zürich, Wien, New York: Springer Verlag, 2001.
- Card, Stuart; Jock Mackinley y Ben Shneiderman (eds.), *Readings in information visualization. Using vision to think*, San Francisco: Kaufmann, 1999.
- Day, Robert A., *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 4ª. Ed. 1994 y 5ª. Ed., 1998.
- Frenkel, Felice, "Technology enables new scientific images to emerge", en *Nieman Reports*, otoño 2002.
- Gross, Alan y Joseph E. Harmon, "What's right about scientific writing", en *The Scientist*, vol. 13, núm. 24, 6 de diciembre de 1999.
- Katz, Michael J., *Elements of the scientific paper. A step-by-step guide for students and professionals*, New Haven y London: Yale University Press, 1985.
- Kircz, Joost G. y Hans E. Roosendaal, "Understanding and shaping scientific information transfer", en Shaw/Morres (eds.), en *Electronic publishing in science. Proceedings of the ICSU Press/Unesco expert conference*, Paris: Unesco, 1996.
- Kittler, Friedrich, "Schrift und Zahl: Die Geschichte des errechneten Bildes", en Christa Maar y Hubert Burda (eds.), *Iconic Turn*, Köln: DuMont 2004.
- Krieger, Peter, "Investigaciones estéticas sobre las ilustraciones científicas", en *Ciencia*, vol. 53, núm. 4, octubre-diciembre 2002.
- Mahoney, Diana Phillips, "Unlocking the mysteries of science", en *Computer Graphics World*, July 1995.
- McAllister, James W., "Recent work on the aesthetics of science", en *International Studies in the Philosophy of Science*, vol. 16, núm. 1, 2002.
- McCormick, B. et al., "Visualization in scientific computing", en *Computer Graphics*, vol. 21, núm. 6, noviembre 1987.
- McLuhan, Marshall, *Understanding media: The extension of man*, London: Routledge, 1964.
- Meadows, Arthur J., "The evolution of graphics in scientific articles", en *Publishing Research Quarterly*, vol. 7, núm. 1, 1991.
- Mitchell, W. J. T., *Picture theory: Essays on visual and verbal representation*, Chicago and London: University of Chicago Press, 1994.

- Molestina Escudero, Carlos J., "Los escritos científicos", en Carlos J. Molestina (comp.), *Fundamentos de comunicación científica y redacción técnica*, San José, C.R.: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1988.
- Pang, Alex Soojung-Kim, "Visual representation and post-constructivist history of science", en *Historical Studies in the physical and biological sciences*, vol. 27, 1997.
- UNESCO, *Guide for the preparation of scientific papers for publication*, Paris: UNESCO, 29 de agosto de 1968.

CRÉDITOS DE LAS ILUSTRACIONES

- Fig. 1: Publicidad de *CoPlot. Software for Great Scientific Graphs, Maps, and Technical Drawings*
<http://www.cohort.com/coplot.html> (acceso 22/09/05)
- Fig. 2: The Biosciences Electron Microscopy Facility at the University of British Columbia, Canada
http://www.emlab.ubc.ca/gallery/elaine_images.html
 (acceso 04/11/05)
- Fig. 3: *SSD Tropical Satellite Imagery System Status, GOES Storm Floater 1*
<http://ssd.noaa.gov/satellite.shtml> (acceso 20/10/05)
- Fig. 4: Gallery of Data Visualization, *Milestones in the History of Thematic Cartography, Statistical Graphics and Data Visualization 1975- present*
<http://www.math.yorku.ca/SCS/Gallery/milestone/sec9.html>
 (acceso 04/11/05)
- Fig. 5: Cellular Automata Gallery- Part I
http://psoup.math.wisc.edu/mcell/ca_gallery.htm
 (acceso 04/11/05)
- Fig. 6: Laboratorio de Graficación por Computadora del Departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencias, UNAM, *Región del Conjunto de Mandelbrot*
<http://www.fciencias.unam.mx/Graf/fractales/fract.html>
 (acceso 15/10/05)
- Fig. 7: Dan Danwell, *DNA Game of Chaos*
<http://orion.math.iastate.edu/danwell/CG/CG.html>
 (acceso 15/10/05)
- Fig. 8: Wikipedia, *Information graphics*,
<http://www.en.wikipedia.org/wiki/infographics>
 (acceso 15/10/05)
- Fig. 9a: *Introduction to scientific visualization tools*
<http://scv.bu.edu/Tutorials/SciVis/introintro.html>
 (acceso 03/08/05)
- Fig. 9b: *Visualization images: climate modeling*
<http://www.ccs.lanl.gov/ccs1/projects/Viz/im-climate.html>
 (acceso 03/08/05)

- Fig. 12: *Nature*, vol. 421, núm. 6923, 6 de enero, 2003, p. 602.
- Fig. 13 (a y b): *Science*, vol. 302, núm. 5651, 5 de diciembre, 2003, p. 1732 y 1733.
- Fig. 14: *Science*, vol. 302, núm. 5643, 10 de octubre, 2003, p. 255.
- Fig. 15: *Nature*, vol. 426, núm. 6963, 13 de noviembre, 2003, p. 150.
- Fig. 16: *Science*, vol. 299, núm. 5610, 21 de febrero, 2003, p. 1196.
- Fig. 17: *Science*, vol. 302, núm. 5651, 5 de diciembre, 2003, p. 1729.
- Fig. 18: *Science*, vol. 299, núm. 5611, 28 de febrero, 2003, p. 1362.
- Fig. 19: *Science*, vol. 302, núm. 5649, 21 de noviembre, 2003, p. 1368.
- Fig. 20: Institute for Biochemistry, Humboldt University, Berlin, *Multiple Sequence Alignment*,
<http://www.charite.de/bioinf/strap#doc> (acceso 03/11/05)

