



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

POSGRADO EN BIBLIOTECOLOGÍA
Y ESTUDIOS DE LA INFORMACIÓN

EL USO DE ILUSTRACIONES EN
REVISTAS CIENTÍFICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORA EN BIBLIOTECOLOGÍA Y
ESTUDIOS DE LA INFORMACIÓN

P R E S E N T A
ELKE KOPPEN PRUBMANN

COMITÉ TUTORAL:

DRA. ESTELA MORALES CAMPOS (DIRECTORA)

DRA. JANE RUSSELL BARNARD

DR. GERMINAL COCHO



FACULTAD DE FILOSOFÍA
Y LETRAS

MÉXICO, D.F.

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos:

A todos los que me apoyaron, en especial, a mi *Doktormutter*¹, la Dra. Estela Morales Campos, por su comprensión, y a los integrantes de mi Comité Tutorial, la Dra. Jane Russell por su crítica siempre constructiva y el Dr. Germinal Cocho por su optimismo y discurso esperanzador, a Pedro Miramontes por su sonrisa y sus conocimientos matemáticos, a Mariana Benítez por ayudarme a clasificar las ilustraciones y a Klaus Sachs-Hombach por sus valiosos consejos.

¹ En Alemania se habla en lugar de director de tesis del *Doktorvater*, o padre del doctorando, lo que trasladé libremente a madre del doctorando.

“Le véritable voyage de découverte ne consiste pas à chercher de nouveaux paysages, mais à avoir de nouveaux yeux.”

Marcel Proust

A la recherche du temps perdu

INDICE

INTRODUCCION	p. 1
1. EL ESTUDIO DE LAS ILUSTRACIONES CIENTÍFICAS: ESTADO DEL ARTE	p. 13
1.1 Conceptualización de “ilustración”	p. 13
1.2 Las ilustraciones en los estudios bibliotecológicos	p. 16
1.3 Las ilustraciones científicas y su estudio en otras áreas del conocimiento	p. 30
1.3.1 Los estudios de la ciencia	p. 30
1.3.2 La enseñanza de la ciencia	p. 35
2. MARCO TEORICO Y METODOLOGICO	p. 40
2.1 Las ilustraciones como imágenes visuales	p. 40
2.2 Procedimiento metodológico	p. 63
2.2.1 Investigación exploratoria	p. 63
2.2.2 Investigación empírica	p. 64
2.2.2.1 Construcción de una tipología	p. 64
2.2.2.2 Análisis de muestra	p. 65
2.2.2.2.1 Análisis cuantitativo	p. 66
2.2.2.2.2 Análisis cualitativo	p. 67
2.2.2.2.3 Análisis estadístico multivariado	p. 68

3.	EL CONTEXTO: LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA FORMAL EN LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS -----	p. 70
3.1	El proceso comunicativo -----	p. 70
3.2	La comunicación científica -----	p. 75
3.2.1	La esencia del artículo científico -----	p. 76
3.2.2	Los artículos de investigación en <i>Science</i> y <i>Nature</i> y sus políticas editoriales-----	p. 87
3.3	El contexto disciplinario: Las ciencias biológicas -----	p. 91
4.	LA PRODUCCIÓN Y LA RECEPCIÓN DE LAS ILUSTRACIONES CIENTÍFICAS -----	p. 98
4.1	De las ilustraciones científicas dibujadas a las visualizaciones computacionales-----	p. 98
4.1.1	La irrupción de lo digital-----	p. 102
4.1.2	Las visualizaciones computacionales de datos multivariados y de información-----	p. 105
4.2	La lectura del artículo científico y sus ilustraciones-----	p. 108
4.2.1	Las ilustraciones científicas y sus lecturas -----	p. 113
5.	HACIA UNA TIPOLOGÍA DE LAS ILUSTRACIONES CIENTÍFICAS -p.	119
5.1	Tipología general de las imágenes -----	p. 120
5.2	Tipología específica de imágenes visuales producidas en el ámbito de la investigación científica -----	p. 125

6.	RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA MUESTRA	p. 136
6.1	Análisis cuantitativo	p. 136
6.1.1	Composición de los artículos	p. 136
6.1.2	Composición de los conjuntos ilustrativos	p. 142
6.2	Análisis cualitativo	p. 147
6.2.1	Clasificación de los artículos	p. 147
6.2.2	Clasificación de las ilustraciones	p. 151
6.2.2.2.1	Ajustes a la tipología	p. 151
6.2.2.2.2	Distribución de los tipos encontrados	p. 168
6.2.3	Relación entre texto e imagen	p. 173
6.3	Análisis estadístico multivariado	p. 176
6.3.1	Análisis sobre la composición de los artículos	p. 176
6.3.2	Análisis sobre los tipos como variables	p. 181
6.4	Comparación entre los artículos impresos y sus formatos electrónicos	p. 201
7.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	p. 207
7.1	Las ilustraciones en los artículos de investigación en las ciencias biológicas	p. 208
7.1.1	Las nuevas imágenes	p. 210
7.1.2	Las implicaciones para los servicios de información	p. 216
7.2	Perspectivas	p. 220
7.3	Recapitulando o los “nuevos ojos” de Proust	p. 223
8.	BIBLIOGRAFÍA CITADA	p. 226

9.	ANEXOS -----	p. 236
9.1	Listado de artículos analizados-----	p. 237
9.2	Formato de registro-----	p. 248
9.3	Artículo marcado-----	p. 254
9.4	Las ciencias biológicas y sus ramas-----	p. 261
9.5	Cuadro: Desarrollo tecnológico relevante para la producción y publicación de imágenes en las ciencias-----	p. 262
9.6	Artículo adicional a la muestra y relatoría sobre su lectura-----	p. 267
9.7	Metadatos descriptivos-----	p. 278

LISTA DE CUADROS

2.1	Escala de iconocidad basada en Villafañe -----	p. 53
3.1	Indicaciones cuantitativas para artículos de investigación en <i>Nature</i> y <i>Science</i> -----	p. 90
6.1	Componentes del cuerpo (%) a partir de la ilustraciones -----	p. 138
6.2	Rangos de porcentajes que ocupan las ilustraciones -----	p. 139
6.3	Clases de conjuntos ilustrativos en los 102 artículos -----	p. 146
6.4	Distribución de disciplinas y enfoques metodológicos por revista -----	p. 148
6.5	Artículos con valores mínimos en relación a las ilustraciones -----	p. 150
6.6	Artículos con valores máximos en relación a las ilustraciones -----	p. 151
6.7	Distribución de tipos de ilustraciones -----	p. 168
6.8	Conjuntos ilustrativos de gran tamaño -----	p. 171
6.9	Conjuntos ilustrativos con porcentaje pequeño de leyenda -----	p. 173
6.10	Conjuntos ilustrativos con porcentaje grande de leyenda -----	p. 174
6.11	Distribución de tipos de ilustraciones en los SOM -----	p. 204
6.12	Distribución de clases de conjuntos ilustrativos en los artículos impresos y los suplementos electrónicos (SOM) -----	p. 206

LISTA DE FIGURAS

1.1	Detalle de la portada de la <i>Enciclopedia</i> (1772) -----	p. 14
1.2	Ilustración -----	p. 15
1.3	Decoración de texto -----	p. 15
1.4	Decoración de imagen -----	p. 15
2.1	Principios gestálticos -----	p. 45
2.2	Aplicación de color falso a densidades representadas en blanco y negro -----	p. 46
2.3	Ilusión óptica de Zöllner -----	p. 47
2.4	Ilusión óptica de Müller-Lyer -----	p. 48
2.5	Grafemas -----	p. 56
3.1	Modelo de Shannon y Weaver -----	p. 71
3.2	Esquema de codificación y decodificación -----	p. 73
4.1	Representación medieval con la Tierra en el centro del Universo -----	p. 99
4.2	Sistema solar copernicano -----	p. 99
4.3	Imagen del telescopio espacial Hubble -----	p. 99
4.4	Distribución calculada de materia visible en el Universo -----	p. 99
4.5	Gráficas que se pueden elaborar con el software <i>CoPlot</i> -----	p. 102
4.6	Fotomicrografía de las patas de una araña -----	p. 103
4.7	Fotografía satelital en el infrarrojo del huracán Wilma con aplicación de color falso -----	p. 103
4.8	<i>Parallel coordinates</i> -----	p. 104
4.9	Autómata celular -----	p.104
4.10	Fractal -----	p.104
4.11	Juego del caos en el DNA -----	p. 104
4.12	La campaña napoleónica en Rusia (1812-1813 -----	p. 106
4.13	Prueba de daltonismo -----	p. 114
5.1	Pinturas rupestres -----	p. 120
5.2	<i>Computer Graphics</i> -----	p. 120

5.3	Imagen de una manzana (Codificación icónica) -----	p. 121
5.4	La palabra "manzana (Codificación simbólica) -----	p. 121
5.5	Fotografía aérea -----	p. 122
5.6	Fotografía aérea con simbología -----	p. 122
5.7	Mapas -----	p. 122
5.8	Guerrero con lanza -----	p. 123
5.9	Diagrama con flechas -----	p. 123
5.10	Tipología general de las representaciones -----	p. 125
5.11	Pintura de planta (imagen realista) -----	p. 126
5.12	Tomografía frontal de cráneo (imagen realista) -----	p. 126
5.13	Representación metafórica de la memoria (imagen análoga) -----	p. 127
5.14	Modelo de una molécula (imagen análoga) -----	p. 127
5.15	Representación diagramatical del globo ocular (imagen análoga) -----	p. 128
5.16	Gráfico de barras (imagen lógica) -----	p. 129
5.17	Electrocardiograma (imagen lógica) -----	p. 129
5.18	Diagrama de flujo (imagen lógica) -----	p. 129
5.19	<i>Parallel coordinates</i> (imagen lógica) -----	p. 129
5.20	Escala de iconocidad de grupos de ilustraciones -----	p. 135
6.1	Histograma de la cantidad de conjuntos ilustrativos por artículo -----	p. 136
6.2	Histograma de la cantidad de cuadros por artículo -----	p. 137
6.3	Composición del cuerpo -----	p. 138
6.4	Correlación entre los porcentajes ocupados por texto y conjuntos ilustrativos -----	p. 140
6.5	Correlación entre los porcentajes ocupados por texto e imágenes ----	p. 140
6.6	Correlación entre los porcentajes ocupados por texto y cuadros -----	p. 141
6.7	Correlación entre los porcentajes ocupados por conjuntos ilustrativos y cuadros -----	p. 141
6.8	Correlación entre el número de conjuntos ilustrativos y el porcentaje ocupado por ellos -----	p. 142
6.9	Composición de conjuntos ilustrativos -----	p. 142

6.10	Variedad de representaciones -----	p. 143
6.11	Aglomeración de imágenes -----	p. 143
6.12	SID-S: Una sola imagen simple -----	p. 145
6.13	SID-nS (D): Una imagen densificada de tres elementos -----	p. 145
6.14	MID-S (S-S-S-S): Cuatro imágenes simples -----	p. 145
6.15	MID-nS (AI-S-S): Aglutinado de 16 imágenes y dos imágenes simples -----	p. 145
6.16	Cuadro en conjunto ilustrativo -----	p. 152
6.17	Diseño gráfico donde al fijar la vista el centro parece moverse-----	p. 153
6.18	Fotografía a color -----	p. 153
6.19	Fotomicrografías a color -----	p. 153
6.20	Fotomicrografías a color producto de <i>merge</i> última columna) -----	p. 154
6.21	Dibujo realista de un esqueleto de dinosaurio -----	p. 154
6.22	Proyecciones con cámara lúcida -----	p. 155
6.23	Modelos moleculares -----	p. 155
6.24	Diagrama análogo -----	p. 156
6.25	Mapas -----	p. 156
6.	Registros de actividad cerebral -----	p. 157
6.27	Electroforésis -----	p. 157
6.28	Graficaciones presentacionales -----	p. 158
6.29	Árboles filogenéticos -----	p. 158
6.30	<i>Heatmap</i> -----	p. 159
6.31	<i>Triangular dotplot</i> -----	p. 159
6.32	Mapa relacional -----	p. 159
6.33	Visualización de procesos algorítmicos -----	p. 160
6.34	Representación de los exponentes de Liapunov de la dinámica de un sistema -----	p. 161
6.35	Diagrama lógico -----	p. 161
6.36	Diagrama de proceso -----	p. 161
6.37	Estructura química -----	p. 161

6.38	Secuencias de nucleótidos -----	p. 162
6.39	Secuencias de nucleótidos -----	p. 162
6.40	Cuadro gráfico -----	p. 163
6.41	Alineación de secuencias de aminoácidos -----	p. 163
6.42	Alineación de secuencias de aminoácidos -----	p. 164
6.43	Mapa génico -----	p. 164
6.44	<i>Overview</i> génico -----	p. 165
6.45	<i>Overview</i> de cromosomas -----	p. 165
6.46	<i>Overview</i> de cromosomas -----	p. 166
6.47	Dendrograma de los cuatro componentes del cuerpo de 102 artículos -----	p. 177
6.48	Dendrograma de artículos en relación a la composición de sus cuerpos -----	p. 178
6.49	Dendrograma de artículos en relación a la composición de sus cuerpos y cantidades de conjuntos ilustrativos y cuadros -----	p. 180
6.50	Dendrograma de los tipos de ilustraciones -----	p. 182
6.51	<i>Heatmap</i> o matriz de densidades con objetos ordenados de los tipos de ilustración -----	p. 185
6.52	Dendrograma del <i>heatmap</i> de la figura 6.51 -----	p. 186
6.53	<i>Heatmap</i> o matriz de densidades normalizada con objetos ordenados de los tipos de ilustración -----	p. 188
6.54	Dendrograma de artículos según su numeración -----	p. 189
6.55	Dendrograma de artículos por especialidades -----	p. 191
6.56	Dendrograma de artículos por enfoque metodológico -----	p. 193
6.57	Dendrograma corregido (especialidades) -----	p. 197
6.58	Dendrograma corregido (enfoque metodológico) -----	p. 198
6.59	Histograma de la cantidad de conjuntos ilustrativos en los suplementos <i>online</i> -----	p. 203
6.60	Histograma de la cantidad de cuadros en los suplementos <i>online</i> -----	p. 203

RESUMEN

El propósito principal es demostrar el papel central que tienen las ilustraciones dentro de la comunicación científica formal en la era digital, tomando como caso específico los artículos de investigación en el área de las ciencias biológicas publicados en las revistas *Science* y *Nature* en el año de 2003. Metodológicamente, la investigación es una combinación de tipo exploratorio y empírico, ya que, con base en lecturas especializadas sobre tópicos pertinentes derivadas del marco teórico (contexto, producción y recepción), se determinan los aspectos importantes para el análisis de las ilustraciones en artículos científicos, mismos que se toman en cuenta en el análisis cuantitativo, cualitativo y multivariado de una muestra de artículos.

Se llegó a la conclusión que aún en el campo de las ciencias biológicas, donde las imágenes siempre han jugado un papel relevante, en la era digital se producen y se publican imágenes nuevas que sugieren una nueva esteticidad de las ilustraciones y una nueva lectura. Asimismo, la importancia de lo Visual demanda una atención especial a la calidad visual y el color en los servicios de información y documentación. Los resultados del análisis multivariado permitieron afirmar que es posible hacer inferencias a partir de las ilustraciones contenidas en los artículos científicos al detectar una correlación estrecha entre el enfoque metodológico de una investigación y los tipos de ilustraciones con sus técnicas específicas involucradas en su producción.

INTRODUCCION

“Los primates somos animales visuales. Ningún otro grupo de mamíferos depende tanto de la vista. Nuestra atracción por las imágenes como fuentes de la comprensión es tanto primordial como profunda. La escritura, con su secuencia lineal de las ideas, es una ocurrencia histórica tardía en la historia de la cognición humana.”

Stephen Jay Gould¹

Pese a que la palabra escrita y el concepto, el número y la ecuación, hayan sido dominantes en el discurso científico, los trabajadores de la ciencia desde siempre 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 y estudio. La dominancia de lo verbal se hace patente sobre todo en las ciencias humanas con sus conceptos abstractos, mientras en las ciencias naturales la necesidad de acceder a fenómenos demasiado lejanos, demasiado pequeños, demasiado fugaces, encubiertos o fuera del espectro electromagnético visible para nuestros ojos, lleva a la producción de cantidades significativas de imágenes científicas. A pesar de las diferencias entre los distintos campos del conocimiento, por mucho tiempo se pudo constatar una marginalización social de las imágenes como inferiores al concepto, situación

¹ Gould, Stephen Jay, “A tale of three pictures”, en *Human Nature*, vol. 97, núm. 5, 1988, p. 14. Cita original en inglés: “Primates are visual animals. No other group of mammals relies so strongly on sight. Our attraction to images as a source of understanding is both primal and pervasive. Writing, with its linear sequencing of ideas, is a historical afterthought in the history of human cognition.”

reforzada aún por el positivismo y el cientificismo del siglo XIX con la consecuente relegación de las imágenes a áreas de menor prestigio como la divulgación científica o las ciencias descriptivas consideradas poco “duras”. Rompiendo con la tradición artística exquisita de la ilustración científica que tuvo su expresión por excelencia en la anatomía y la botánica, las ilustraciones en publicaciones científicas sufrieron también una pérdida generalizada de esteticidad, incluso en las áreas donde la imagen mantuvo su importancia como las ciencias naturales, al ser reducidas a su mera funcionalidad y subyugándolas a parámetros de racionalización tanto en relación a espacios asignados como de agregados ornamentales mediante la sustitución por imágenes técnicas hechas por aparatos que prometen exactitud y objetividad.² Todavía en los años setentas del siglo pasado reinaba un desdén generalizado a imágenes bellas y gráficas llamativas como lo certifican Drott y Griffiths:

“El uso de fotografía a color, de material pictórico atractivo y de gráficas lucientes marca normalmente a la revista como de menor importancia técnica.”³

Sin embargo, durante las últimas tres décadas han ocurrido cambios notables en lo que a lo visual se refiere. Se observa la creciente publicación de portadas relumbrantes a todo color que explotan el impacto visual y la belleza de las imágenes producidas en las ciencias, así como una mayor inclusión de represen-

² La historia de la cartografía ofrece un ejemplo muy ilustrativo de este proceso.

³ Drott y Griffiths, 1975, citados en Meadows, Arthur J., “The evolution of graphics in scientific articles”, en *Publishing Research Quarterly*, vol. 7, núm.1, 1991. Cita original en inglés: “The use of colour photography, attractive pictorial material and brilliant graphics normally marks the journal as being of less technical importance”.

taciones visuales atractivas en las diferentes secciones que componen a las revistas científicas. Este desarrollo se inscribe en un auge generalizado de lo visual en todos los ámbitos y 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 del *iconic turn*⁴, un giro generalizado hacia lo visual que reivindica un tratamiento interdisciplinario que va de la mano con una revaloración de las imágenes. A nivel tecnológico, la era digital ha traído consigo nuevas posibilidades y herramientas que aumentan en mucho las posibilidades de adquisición, de producción y de uso generalizado de imágenes facilitadas por la graficación por computadora, las técnicas de digitalización, los programas de edición de imágenes, la publicación electrónica y el desarrollo mismo de las computadoras con capacidades gráficas y el cómputo científico, que permite el análisis complejo de grandes cantidades de datos y su visualización. Con el desarrollo de la sociedad de la información y la creciente computarización del mundo ocurren cambios notables en lo que al manejo de imágenes se refiere y cuyas dimensiones no se dejan prever aún, pero ya nos encontramos en nuestra cotidianidad frente a una verdadera avalancha de imágenes. Sin embargo sería limitado adjudicar este flujo creciente de imágenes únicamente a las mejoradas condiciones de su producción, sino el fenómeno debe ser analizado desde una sociedad de la información cada vez más compleja que exige de alguna manera

⁴ 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 (ed.), *Was ist ein Bild?*, München: Fink, 1994. Véase más al respecto en el Capítulo 2.

esta producción aumentada de información visual. El tiempo necesario para asimilar las cantidades sin precedente de información crece a la par con el saber acumulado en datos y transmitido en publicaciones en formatos varios. La complejidad del mundo por su progreso técnico-científico ya no es fácilmente digerible y se requiere de alguna reducción para ser comprendida en su dimensión verdadera. Las formas tradicionales de comunicación como los textos y las bases de datos, también necesitan una reducción de su complejidad y se requiere densificar cada vez más esta gran cantidad de información. Como consecuencia, hay un giro pronunciado hacia la representación visual. Si antes en el proceso de racionalización occidental la escritura, así como el número y la fórmula o ecuación, relevaban a la imagen como representación del conocimiento, hoy es precisamente la imagen que ofrece una solución atractiva. La imagen, como ninguna otra forma de representación, permite concentrar informaciones y reducirlas a un mínimo aprensible. Es paradójico: precisamente esta característica de la imagen facilitadora de la comprensión, que había debilitado su posición durante los últimos quinientos años por ser considerada un medio para sectores poco privilegiados, o illetrados, es la que hoy le da ventajas sobre todos los demás medios.

La bibliotecología ha quedado en gran medida ajena a las reflexiones del *iconic turn*. En lo que a imágenes se refiere, sigue anclada a las pautas de la documentación de materiales gráficos sin incorporar nuevos enfoques desde otras áreas del conocimiento. No es que se niegue la importancia de las ilustraciones en las revistas científicas, sobre todo si de las ciencias naturales o la medicina se trata con sus dibujos, fotografías y micrografías de plantas, animales y células y su

imagenología médica respectivamente. No obstante, en la literatura bibliotecológica sobre la comunicación científica rara vez se hace alusión específica a este componente potencial de los artículos y tampoco en los trabajos sobre publicaciones electrónicas hay una presencia significativa del tema de las imágenes.

La presente tesis pretende contrarrestar estas ausencias al intentar acercar la bibliotecología al *iconic turn*, ya que la marginalización o falta de atención a las imágenes lleva a un desaprovechamiento de un recurso informativo y comunicativo muy potente, dado que las imágenes son portadores de información accesible sensorialmente y capaces de compactar gran cantidad de datos en un espacio mínimo.

OBJETIVO GENERAL:

Demostrar el papel central que tienen las ilustraciones dentro de la comunicación científica formal en la era digital, tomando como caso específico los artículos de investigación en el área de las ciencias biológicas publicados en las revistas *Science* y *Nature* en el año de 2003.

Es necesario aclarar que la investigación no es de índole histórica, sino se enfoca a la actualidad para analizar el impacto en la comunicación científica de la creciente facilidad de producir, editar y publicar imágenes en la era digital. No es

posible cubrir todo el universo de disciplinas y revistas. Tampoco había que pretender comparar lo incomparable como pueden serlo una revista técnica ultraespecializada con una revista de divulgación científica; y sin duda, una revista de imagenología médica estará llena de imágenes, mientras una revista dedicada a la mecánica cuántica o la física de partículas elementales probablemente tendrá pocas o ninguna ilustración.

Para elaborar conjeturas más precisas sobre los impactos de la era digital sobre la comunicación científica formal en lo que se refiere a las ilustraciones, es necesario conocer la situación actual que reina en los artículos científicos, ya que el artículo científico que reporta los resultados de investigaciones originales y publicado en una revista de prestigio internacional y de *alto impacto* es la aspiración y el camino de los científicos en busca de reconocimiento, recompensa y fondos para poder seguir investigando. Tomando en cuenta estas consideraciones, se analizaron los artículos de investigación publicados en el año 2003 en las revistas de alto impacto *Nature* y *Science*, ya que tienen un gran prestigio y una larga tradición y, lo que es lo más relevante, representan la cultura científica dominante. Ambas revistas se publican simultáneamente en versión impresa y electrónica, lo que ofrece la oportunidad de una comparación minuciosa para detectar diferencias sustantivas en lo que a las ilustraciones se refiere.

Para no soslayar la lógica interna de cada disciplina, se analizaron solamente artículos relativos a las ciencias biológicas que, dicho sea de paso, predominan en las citadas revistas y que cuentan con una larga tradición de ilustración científica.

Además, aparte de las potencialidades que constituyen las nuevas tecnologías en la creación de imágenes, las computadoras permiten hoy explorar inmensas bases de datos y hacerlas accesibles mediante la percepción sensorial. La gran acumulación de datos biológicos de los que se dispone actualmente, constituyen un enorme caudal de información no procesada y no se puede negar que existe un gran potencial de explotación visual para generar nuevos conocimientos.

De lo anteriormente expuesto se derivan una serie de objetivos específicos:

OBJETIVO ESPECIFICO 1:

Elaborar un marco teórico interdisciplinario que conciba a la ilustración en calidad de imagen visual como un fenómeno específico y complejo.

En apego a la corriente teórica del *iconic turn* se parte de la imagen como fenómeno complejo e interdisciplinario que, para ser entendido, debe tomar en consideración tópicos como la visión, aspectos culturales, funcionales, tecnológicos y formales como la iconicidad, así como estéticos y emocionales y, para el caso de ilustraciones, la relación entre texto e imagen.

OBJETIVO ESPECIFICO 2:

Elaborar una tipología de ilustraciones para clasificar las ilustraciones contenidos en la muestra y ajustarla a la realidad empírica encontrada.

Para poder analizar las ilustraciones en los artículos de la muestra fue imperativo construir una tipología con una función principalmente operativa que permitiera clasificarlas de manera precisa y acorde con un marco conceptual adecuado a los objetivos de la investigación. La tipología misma se afina en un proceso paulatino de adaptación a la realidad empírica encontrada y así es ella también un resultado mismo de la investigación doctoral.

OBJETIVO ESPECIFICO 3:

Poner a discusión, a partir de la tipología, metadatos descriptivos genéricos que sirvan para una clasificación de ilustraciones científicas

Con ello se piensa aportar categorías generales, pero más específicos para el ámbito científico, que puedan servir también para estudios sobre la ciencia. Se habla aquí de metadatos, porque se piensa en imágenes digitales que podrán contener información en el mismo archivo gráfico que no se pierde al descontextualizar la imagen.

OBJETIVO ESPECIFICO 4:

Elaborar recomendaciones generales para la labor del bibliotecario que da servicios de información científica y técnica.

Se propone detectar posibles implicaciones directas para los servicios bibliotecarios y de información que puedan derivarse en recomendaciones concretas.

OBJETIVO ESPECIFICO 5:

Generar hipótesis para investigaciones futuras.

Por último, se busca plantear preguntas de investigación y temas nuevos a estudiar, al mismo tiempo que formular hipótesis para investigaciones futuras, ya que la atención a las imágenes dentro de las grandes líneas de investigación bibliotecológica podría propiciar nuevas miradas.

En el campo epistemológico la presente investigación se define como una combinación de tipo exploratorio y empírico, ya que propone, con base en lecturas especializadas sobre tópicos pertinentes derivadas del marco teórico, conocer los aspectos importantes para el análisis de las ilustraciones en artículos científicos, así como conocer la realidad empírica mediante el análisis de una muestra de artículos. Hay que advertir que los resultados de la investigación empírica tienen

validez únicamente para las ciencias biológicas, pero al combinarse con la información reunida en la investigación exploratoria, son posibles algunas extrapolaciones generales. Son dos las hipótesis que guían la investigación:

Hipótesis 1:

La comunicación científica formal en la era digital experimenta un giro pronunciado hacia la representación visual que permite compactar gran cantidad de información y hacerla accesible sensorialmente. Aun en la biología, donde las imágenes siempre han sido de gran importancia, hoy se puede hablar de una nueva densidad y calidad de estas imágenes.

Hipótesis 2:

El papel central que juega la imagen como fenómeno específico y complejo dentro de las revistas científicas obliga a prestarle más atención como ente recuperable en los servicios de información.

La tesis se estructura de la siguiente manera: Partiendo de una conceptualización general del término *ilustración*, en el **Capítulo 1** se describe el tratamiento de las ilustraciones en el quehacer bibliotecario y los estudios bibliotecológicos. Después de discutir las propuestas clasificatorias prevalecientes y sus limitaciones para el propósito de la presente investigación, se analiza la literatura bibliotecológica y

áreas afines que alude al tema en cuestión, que está constituida principalmente por textos sobre cómo escribir artículos científicos. El capítulo termina con un panorama general de dos áreas que se dedican de manera específica al estudio de las ilustraciones científicas: los estudios de la ciencia y la enseñanza de la ciencia.

En el **Capítulo 2** se expone el marco teórico y metodológico que se propone para la presente investigación. Se define a las ilustraciones en los artículos científicos como imágenes visuales con la especificidad de estar ligadas a un tipo determinado de texto. Después de hacer un recuento de los factores principales que influyen en las ilustraciones en los artículos científicos, se argumenta la necesidad de estudiarlas en su contexto comunicativo y disciplinario, así como en su historia de producción y en su recepción. Por último, se expone el proceder metodológico.

El **Capítulo 3** se dedica precisamente a esta contextualización de las ilustraciones a estudiar, ubicándolas, en primera instancia, en un proceso comunicativo general y otro específico, el de la comunicación científica formal. Se analizan las pautas que rigen al artículo científico, las características específicas de las revistas *Science* y *Nature* y las indicaciones para sus autores, para pasar al contexto disciplinario de las ciencias biológicas donde se hace un recuento del desarrollo de las diferentes especialidades, los enfoques metodológicos empleados y se analiza la literatura sobre las tradiciones de la representación visual.

El **Capítulo 4** abarca tanto los aspectos tecnológicos que determinan la creación de ilustraciones científicas desde las ilustraciones dibujadas con destreza artística hasta las visualizaciones computacionales, así como la recepción en el sentido de la lectura del artículo científico como texto particular que normalmente no se lee de manera lineal y en cuya lectura, las ilustraciones juegan un papel primordial. Asimismo se analiza cómo se leen las imágenes y se alude a la lectura en diferentes soportes: el papel y el monitor de la computadora.

Partiendo de una tipología general de las imágenes de la cual se toman categorías básicas, el **Capítulo 5** describe la dimensionalización de estas categorías tomando en cuenta aspectos de iconicidad, los tipos de datos representados y las funciones en los procesos subyacentes de producción y comunicación de las imágenes. Se presenta la tipología que se utiliza en la clasificación de las ilustraciones de la muestra.

En el **Capítulo 6** se presentan los resultados de la investigación empírica en sus vertientes de análisis cuantitativo, cualitativo y multivariado, así como la comparación entre las revistas impresas y sus versiones electrónicas.

El **Capítulo 7** contiene las conclusiones derivadas y plantea las perspectivas que la investigación vierte al futuro.

Se cierra el trabajo con la bibliografía citada (**Capítulo 8**) y una sección de anexos varios (**Capítulo 9**).

1. EL ESTUDIO DE LAS ILUSTRACIONES CIENTIFICAS: ESTADO DEL ARTE

1.1 Conceptualización de “ilustración”

Etimológicamente la palabra *ilustración* proviene del verbo latín *illustrare* que significa “dilucidar” o “explicar”. En nuestros días, la Real Academia de la Lengua¹ le confiere adicionalmente el significado de aclarar un punto con palabras o imágenes, adornar un impreso con láminas o grabados alusivos al texto y dar luz al entendimiento. El término “ilustración” también designa al movimiento intelectual que a finales del siglo XVIII tuvo como base una filosofía que enfatiza la confianza en la razón como generadora del conocimiento. La *Encyclopédie ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts y des métiers* de Denis Diderot y Jean le Rond D’Alembert², que se publica a partir de 1751, es el producto que sintetiza este movimiento. Con sus ilustraciones detalladas y artísticas³, esta obra demuestra que el arte se libera de la única intención en el absolutismo de complacer a las élites eclesiástica y de la nobleza, y se implementa para educar al pueblo y acercarle, apoyado en la vía sensorial, las nuevas ideas racionales y los conocimientos de la época. No queda duda de que el término “ilustración” tiene una carga metafórica que consta en la portada misma de la gran enciclopedia con un grabado que bien se podría denominar “*La ilustración ilustrada*” (Figura 1.1).

Como lo expone el pie de la imagen tomada de la Wikipedia en español:

¹Véase Real Academia Española, *Diccionario de la Lengua Española*, Madrid: REA, 22a. ed., 2001.

²Entre los más de 200 autores se encuentran mentes tan destacadas como Voltaire, Montesquieu, y Rousseau.

³Entre 1751 y 1772 se editaron 28 volúmenes de los que 17 contenían artículos y 11 volúmenes se destinaron exclusivamente a ilustraciones.

“El trabajo está cargado de simbolismo: la figura en el centro representa la verdad rodeada por una luz brillante (el símbolo central de la iluminación). Dos otras figuras a la derecha, la razón y la filosofía, están rasgando el velo que cubre verdad.”⁴



Fig. 1.1: Detalle de la portada de la *Enciclopedia* (1772).

Tradicionalmente, se entiende por “ilustraciones” las estampas, los grabados, los dibujos y las fotografías que decoran, embellecen o hacen más atractivo o ameno un texto, o que aportan claridad en forma de ejemplo concreto de lo expuesto o añadiendo más detalle a la descripción.⁵ Existen, sin embargo, concepciones que limitan el término “ilustración” a su función decorativa y a las técnicas para ello empleadas que remontan al primer tercio del siglo XIX⁶. Hoy se distingue las ilustraciones (Figura 1.2), de las “iluminaciones”, estos conjuntos decorativos que embellecen a los manuscritos medievales⁷, pero algunas fuentes las deslindan

⁴ Véase “Enciclopedia” en *Wikipedia* (consultado en <http://es.wikipedia.org/wiki/L%27Encyclop%C3%A9die> el 3 de junio de 2000).

⁵ La primera acepción aplica sobre todo en el caso de libros. Véase *Webster's Ninth New International Dictionary*, Springfield: Merriam-Webster, 2002; Martínez de Sousa José, *Diccionario de Bibliología y Ciencias Afines*, Somonte-Cenero: Trea, 3a. ed., 2004 y Real Academia Española, *op cit.*

⁶ Véase *Diccionario Akal de Estética*, Madrid: Akal, 1998.

⁷ Véase Clason, W.E., *Elsevier's dictionary of library science, information and documentation*, Amsterdam: Elsevier, 2a. ed., 1976 y Martínez de Sousa, *op cit.*

también de las “decoraciones” que no guardan una relación específica con el contenido o significado del texto (Figura 1.3) o incluso con la imagen que decoran (Figura 1.4).⁸



Fig. 1.2: Ilustración



Fig.1.3: Decoración de texto



Fig. 1.4: Decoración de imagen

Actualmente predominan las definiciones incluyentes que no restringen el tipo de texto o publicación y que consideran entre las ilustraciones no solamente imágenes como dibujos o fotografías, sino también mapas y otras representaciones gráficas:

“Una imagen pictórica, lámina, diagrama, plano, gráfico, mapa, diseño u otra imagen gráfica impresa o insertado en el texto u otra publicación para embellecer o complementar o elucidar el texto.”⁹

“Una representación pictórica, diagramatical u otra representación gráfica dentro de una publicación.”¹⁰

⁸Véase Library of Congress, *Thesaurus for Graphic Material II: Genre & Physical Characteristic Terms (TGMII)*, (consultado en <http://lcweb.gov> el 23 de abril 2003).

⁹ Reitz, Joan M., *Dictionary of Library and Information Science*, Westport-London: Librarian Unlimited, 2004, p. 348. Cita original en inglés: “A picture, plate, diagram, plan, chart, map, design, or other graphic image printed or inserted in the text or other publication as an embellishment or to complement or elucidate the text.”

Sin embargo, en lo que se refiere a los artículos en revistas académicas, normalmente no se habla de ilustraciones, sino que se utiliza el término “figuras” que el *Dictionary of Library and Information Science* define como

“Material ilustrativo impreso *dentro* del texto, más que por separado en forma de láminas. Las figuras son usualmente dibujos lineales bastante sencillas numeradas de manera consecutiva con números arábigos por orden de aparición para facilitar su consulta.”¹¹

Prefiero, sin embargo, seguir hablando de “ilustración” aun en el ámbito de los artículos científicos, ya que en su acepción amplia abarca todo tipo de imágenes con sus variadas funciones posibles, mientras el término “figura”, como vimos en la cita anterior, alude sobre todo a dibujos esquemáticos. Lo que el uso del término “figura” aporta, a mi parecer, es únicamente el convencionalismo de la numeración de las ilustraciones, sin embargo un aspecto meramente formal de las publicaciones periódicas.

1.2 Las ilustraciones en los estudios bibliotecológicos

La dedicación a lo visual en la bibliotecología recae sobre todo en su vertiente documentalista, esto es, la organización de colecciones visuales y la catalogación de obras ilustradas en el área de la descripción física sobre todo de libros. Las

¹⁰ *Descriptive cataloging. Cataloging of rare books*, Washington: The Library Corporation, 2a. ed., 1991. Cita original en inglés: “A pictorial, diagrammatic, or other graphic representation within a publication.”

¹¹ Reitz, *op.cit.*, p. 349. Cita original en inglés: “Illustrative matter printed *with* the text, rather than separately in the form of plates. Figures are usually fairly simple line drawings, numbered consecutively in Arabic numerals in order of appearance to facilitate reference.”

Reglas Angloamericanas de Catalogación (AACR2)¹² enlistan como básicas las siguientes ilustraciones:

Cuadros genealógicos

Escudos de armas

Facsímiles

Formas

Mapas

Muestras

Música

Planos

Retratos

Sin embargo, se permite, si no hay un término adecuado que describe a la ilustración, usar una expresión más apropiada. Sin embargo, lo que se excluye expresamente son los cuadros¹³ que contienen solamente palabras y/o números por lo que no se le considera como ilustraciones. En ediciones anteriores todavía aparece el término de *charts*¹⁴, traducido como “diagrama”¹⁵. Lo que llama la atención que fotografías, por ejemplo, no se toman como ilustraciones,

¹² AACR2 (2004), Regla 2.5C2: *Reglas de Catalogación Anglo-Americanas/* preparadas bajo la dirección del Joint Steering Committee for Revision of AACR2, un comité de la American Library Association, the Australian Committee on Cataloging, The British Library, The Chartered Institute of Library and Information Professionals, the Library of Congress. Traducción y revisión general por Margarita Amaya de Heredia, 2a. Ed., revisión de 2002, actualización de 2003, Bogotá, D.C.: Rojas Eberhard Ediciones Ltda., 2004.

¹³ Se usa el término “tabla”, véase *ibidem*.

¹⁴ Véase AACR2 (1978): *Anglo-American Cataloging Rules/* prepared by the American Library Association, the British Library, the Canadian Committee on Cataloging, the Library Association, the Library of Congress. Edited by Michael Gorman and Paul W. Winkler, Chicago: American Library Association, 2a. ed., 1978.

¹⁵ AACR2 (1983): *Reglas de Catalogación Anglo-Americanas/* preparadas por The American Library Association, the British Library, the Canadian Committee on Cataloging, the Library Association, the Library of Congress. Editadas en español por Carmen Rovira, Washington, D.C.: Organización de los Estados Americanos; San José, C.R.: Universidad de Costa Rica, 2a. ed., 1983, p. 79. Esta traducción ya caducó y fue sustituida por la de Margarita Amaya de Heredia. Traducir el término *chart* es todo un desafío ya que puede abarcar tanto cuadros como gráficos en general y aquí se tomó simplemente como diagrama.

enlistándolas en el área de la descripción física de materiales gráficos en cuya lista también figuran los originales y las reproducciones de arte, los grabados, los diagramas, los dibujos técnicos y las radiografías, entre otros.¹⁶ Las especificaciones de técnicas o formatos particulares de imágenes se exteriorizan por lo tanto solamente en la catalogación de materiales visuales o gráficos originales, no en el caso de ilustraciones. Las ilustraciones, según el tesoro de materiales gráficos de la Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos de América, son definidos como

“imágenes que explican o elaboran un texto escrito o hablado; pueden ser publicadas separadas del texto. Se incluyen ilustraciones publicadas y sin publicar, como son **imágenes hechas en un medio dado y publicadas como ilustraciones en un medio diferente.**”¹⁷

Así se entiende que en el caso de una imagen dada una vez publicada, ya no se le asigna tanta importancia al material del cual fue hecho y qué técnica se usó originalmente en su producción. El tesoro profundiza en los diferentes grupos de ilustraciones al designar como ilustraciones específicas las ilustraciones de libros, los esbozos hechos durante los juicios (*courtroom sketches*), los frontispicios, las ilustraciones en publicaciones periódicas, las ilustraciones científicas y las ilustraciones técnicas, siendo las últimas tres de mayor interés:

¹⁶ Véase Regla 8.5B1 en AACR2 (2004), *op.cit.*

¹⁷ Library of Congress, *Thesaurus for Graphic Material II:...*, *op. cit.*. Cita original en inglés: “images that explain or elaborate a written or spoken text; may be issued separately from the text. Published and unpublished illustrations are included, as are pictures made in one medium to be published as illustrations in a different medium.” Las negritas son mías.

- 1) *Ilustraciones en publicaciones periódicas*¹⁸: ilustraciones por separado, así como dibujos, fotografías y grabados originales hechas con la intención de ser publicados o ya publicados como ilustraciones.
- 2) *Ilustraciones científicas*: ilustraciones que se caracterizan por un gran detalle y exactitud, aptas para el estudio científico o la identificación de organismos y objetos naturales. Frecuentemente se etiquetan sus partes. Se encuentran sobre todo en la botánica, la medicina y la ornitología.
- 3) *Ilustraciones técnicas*: ilustraciones que se usan para explicar cómo funciona algo, sobre todo en obras de consulta y manuales técnicos. No hay que confundirlas con las ilustraciones científicas, los diagramas o los diseños dibujados.¹⁹

No obstante, en lo que se refiere a los artículos científicos, se puede constatar que la mayoría de los servicios referenciales y de citas no indican si un artículo contiene ilustraciones o no y de qué tipo son. Por ejemplo el *Web of Science*²⁰ publicado por el influyente Instituto para Información Científica (ISI), sólo hace excepciones en el área de la historia del arte donde las imágenes, generalmente reproducciones de obras de arte, son objetos de estudio de este campo del conocimiento. Un caso sumamente interesante es el de EBSCO que en el servicio

¹⁸ Traducción libre de *periodical illustrations*.

¹⁹ Véase Library of Congress, *Thesaurus for Graphic Material II...*, *op. cit.*

²⁰ Véase Web of Science en <http://scientific.thomson.com/products/wos/>.

de acceso de los usuarios de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a la revista *Science* indica la cantidad y el tipo de ilustración que contiene cada artículo, pero a cambio de suprimir las ilustraciones, al igual que los cuadros, en el texto completo que ofrece a los lectores. Solamente al final del artículo presenta los cuadros sin divisiones en forma de líneas lo que hace poco aprensible la información y para las “figuras” únicamente incluye las leyendas. Este tratamiento demuestra una apreciación a todas luces equivocada de lo que constituye el material visual en un artículo científico. No se conocen las razones de EBSCO, ya que en el caso de *Nature* ofrece la versión PDF que es idéntica a la versión impresa, pero sin proporcionar el acceso a la información suplementaria que la propia revista contiene su versión electrónica. EBSCO clasifica las ilustraciones con las categorías básicas de fotos (color o blanco/negro), *charts* (para cuadros o tablas), *graphs* (para gráficos en general), diagramas y mapas. El uso de la categoría “foto” es muy genérico, ya que se aplica para imágenes de tipos variados. Cuando se trata de figuras con componentes varios, no se distingue cada uno, sino se asigna una sola categoría general al conjunto. Sin embargo las categorías que usa EBSCO reflejan cierto convencionalismo, aunque no se plasma expresamente en las herramientas de control bibliográfico antes mencionados. Siendo el mundo de las representaciones gráficas, sobre todo en el ambiente científico, más complejo, Gerald Lohse y Neff Walker ²¹ proponen una clasificación algo más específica. En un artículo publicado en la *Encyclopedia of*

²¹ Lohse, Gerald Lee y Neff Walker, “Classifying graphical knowledge”, en Allen Kent (ed.), *Encyclopedia of Library and Information Science*, vol. 53, Supplement 16, New York: Marcel Dekker, 1993, pp. 38-82.

Library and Information Science que reporta los resultados de varios experimentos consecutivos con grupos de personas a quienes se les pidió identificar y agrupar representaciones visuales variadas, los autores presentan un conjunto más específico de 11 grupos principales de representaciones visuales: gráficos, cuadros, cuadros gráficos, *timecharts*, redes, diagramas estructurales, diagramas de procesos, mapas, cartogramas, íconos e imágenes.²²

Sin embargo, para los fines de la presente investigación, esta categorización es aún demasiado limitante como para considerar su adopción puesto que:

1. La propuesta de Lohse y Walker es muy general ya que no contempla una contextualización en el ámbito de la investigación científica y la comunicación de resultados con ilustraciones muy especializadas donde importan aspectos como por ejemplo si lo representado se encuentra en el espectro de lo visible para el ojo humano o fue hecho accesible a la percepción visual mediante técnicas específicas.
2. Hay problemas con la terminología y sus definiciones aceptadas que se agudizan aún más cuando consideramos su uso en distintos idiomas y aún dentro del espacio hispano-hablante. A veces se usa indistintamente “gráfico” y “diagrama” (por ejemplo se encuentra tanto

²²En inglés: *graphs, tables, graphical tables, time charts, networks, structure diagrams, process diagrams, maps, cartograms, icons* y *pictures*. Véase Lohse y Walker, *op. cit.*, p. 48.

“gráfico de barras” como “diagrama de barras”)²³ y la palabra inglesa *graph* puede significar en español tanto gráfico como grafo, que a su vez puede ser lo que Lohse y Walker llaman *network*. Con el término *chart* se complican aún más las cosas.

3. En el caso de los diagramas, aun cuando se dividen atinadamente en estructurales²⁴ y de procesos, el segundo grupo no considera lo que todos llaman diagramas de flujo que según su tipología cae en el grupo de las redes²⁵.
4. Las agrupaciones se integran sobre todo por cuestiones de apariencia que comparten las representaciones, más que por tomar en cuenta su relación con la realidad y las formas de representarla.
5. La inclusión de “cuadros gráficos” es una propuesta interesante y se tendrá que comprobar su utilidad como categoría, mientras los cuadros como tales normalmente no se toman como ilustraciones ya que en los artículos científicos se numeran por separado de las “figuras”.

²³ Véase *Diccionario de matemáticas*, Maidenhead: Edinorma, 11a. reimpr. 1992, p. 20.

²⁴ Por ejemplo un dibujo detallado de un motor y su funcionamiento.

²⁵ En inglés *network charts*.

6. Otra limitante la constituye el hecho de que no es posible detectar visualizaciones computacionales mediante la apariencia de las representaciones.

En general, el estudio de las ilustraciones en artículos científicos no ha recibido mayor atención en la bibliotecología ya que habitualmente se parte de una subordinación de la imagen al texto por lo que menos aún se consideran como entes potencialmente autónomos, dotados de su propio lenguaje y su propia retórica visual, dejando de lado su valor informativo y argumentativo propio, así como la importancia misma en la construcción del conocimiento, calidad que se le había negado no poco tiempo atrás. Esta situación podría explicarse en el paradigma dominante y sus concepciones que rigen en la bibliotecología acerca del artículo científico (también llamado *de investigación*) dentro del cual las ilustraciones no cumplen funciones más allá de la aportación de conocimiento positivo en forma de evidencia y con objetividad absoluta. De esta manera, los estudios bibliotecológicos sobre la comunicación científica, área de su competencia, no le dan un lugar significativo al material visual. Una honrosa excepción es Arthur J. Meadows. En su artículo sobre el desarrollo de las gráficas en artículos científicos da una imagen general del carácter del artículo científico moderno:

“Un artículo científico moderno intenta presentar los resultados mediante una mezcla óptima de texto, cuadros y gráficas para una fácil extracción cognitiva de la información y por lo tanto no es posible analizar texto y gráficas por separado sino que forman un todo integrado.”²⁶

Asimismo resalta que en el caso de las ciencias experimentales, “una tercera parte de espacio total dedicado al artículo en estas revistas puede consistir de gráficas”

²⁷ y afirma que

“El balance actual entre texto y gráficos y entre distintas formas gráficas se alcanzó gracias a un proceso de evolución durante los tres siglos pasados. Al igual que la evolución de los componentes textuales –resumen, referencias, etc.- este proceso puede ser interpretado como una respuesta a las necesidades desarrolladas por la comunidad científica, lo que también es válido para los componentes gráficos. La diferencia principal entre ambos es que el desarrollo de las gráficas ha sido más dependiente de los avances técnicos que lo que lo es el desarrollo de la presentación del texto.”²⁸

Resumiendo las aportaciones más importantes de Meadows, el autor concibe el artículo científico como un todo integrado cuyas partes no se dejan analizar por separado y su forma responde a las necesidades de una comunidad científica. En los artículos relativos a las ciencias experimentales se registra una alta proporción

²⁶Meadows, Arthur J., “The evolution of graphics in scientific articles”, en *Publishing Research Quarterly*, vol. 7, núm. 1, 1991. Cita original en inglés: “A modern scientific article therefore represents an attempt (more or less imperfect) to present results via an optimum mix of text, tables, and graphics, so that information can be extracted by cognoscenti with maximum facility, As this implies, text and graphics in modern scientific articles cannot be fully analyzed in separation from each other: they form an integrated whole.”

²⁷*Ibidem*.

²⁸ *Ibidem*. Cita original en inglés: “The present-day balance between text and graphics and among different graphical forms has been reached by a process of evolution over the past three centuries. Just as the evolution of the text components –abstracts, references, etc.—can be interpreted as a response to the developing needs of the scientific community, so also can the graphical components. The main difference is that the development of the graphics has been more dependent on technical advances than the development of text layout.”

de material gráfico que a su vez, y en comparación con el texto verbal y su presentación, lo declara más dependiente de aspectos técnicos.

Donde se puede encontrar alguna información es en la literatura de manuales para *science writing*. Es de notarse que mientras para la elaboración de resúmenes y la presentación de referencias bibliográficas existen normas internacionales específicas, para los cuadros y las ilustraciones contenidas en publicaciones científicas solamente hay recomendaciones generales. Resalta el mandato de limitar la cantidad guiado tanto por el imperativo de que en la comunicación científica, al menos que se trate de tareas de divulgación, no hay cabida para la decoración, por el costo de inclusión (sobre todo si se trata de imágenes a color), así como por la regla contundente de lo que se puede decir en el texto de manera concisa y clara hay que decirlo de esta manera.

Un libro que en su ya sexta edición se dedica a dar “recetas” de cómo escribir y publicar un artículo científico es el de Robert A. Day²⁹. A partir de la quinta edición, de 1998³⁰, después de indicar cómo elaborar cuadros efectivos, dedica

²⁹ Day, Robert A. y Barbara Gastel, *How to write and publish a scientific paper*, Westport: Greenwood Press, 6a. ed., 2006. Sin embargo, para la presente investigación se tomó en cuenta la quinta edición en donde se presentan cambios de interés para las ilustraciones en comparación con las ediciones anteriores. La última de 2006 edición, en coautoría con Barbara Gastel, elimina muchas alusiones específicas a las nuevas tecnologías que entretanto ya se generalizaron y su novedad se basa en la inclusión de nuevos capítulos sobre como estructurar un *curriculum vitae*, solicitar financiamiento, trabajar con los medios, elaborar dictámenes y divulgar la ciencia. En los casos donde se presentan diferencias significativas con la 5ª. edición, éstas se especifican expresamente.

³⁰ Day, Robert A., (1998), *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 5a. ed., 1998.

dos capítulos a las ilustraciones³¹: un capítulo sobre cómo preparar gráficas efectivas, seguido por otro sobre cómo preparar fotografías efectivas. En cuanto a la presentación de información numérica, Day señala que los cuadros son más útiles que el texto cuando hay que presentar gran cantidad de datos. Y si el autor se encuentra en la disyuntiva de optar por la presentación de un cuadro o de un gráfico, la decisión debe depender de la necesidad de presentar números exactos o, por el otro lado, mostrar diferencias, tendencias o patrones significativos para lo que los gráficos son declarados mucho más adecuados. Sin embargo, advierte que “ciertos tipos de datos no deberían ser tabulados. Tampoco deberían ser convertidos en figuras”³², concluyendo con la razón de que básicamente las gráficas no son otra cosa que cuadros pictóricos. Al incluir fotografías o micrografías, Day recomienda siempre cuestionarse acerca de su “valor” para la historia que se está contando. Este valor “puede ir en un rango de cero (en cuyo caso, igual que los cuadros y gráficas inútiles no deberían ser enviados) a un valor que trasciende el del texto”³³. Day menciona para el caso último el de las fotomicrografías para los estudios sobre “*cell ultrastructure*” y donde es pertinente buscar una revista con altos estándares de calidad de impresión.

En lo que se refiere a fotografías a color, solamente se deberían incluir, considerando su costo, si el color es necesario para mostrar un fenómeno en particular y alguien cubre los gastos que, dicho sea de paso, están disminuyendo y

³¹ En ediciones anteriores todavía había un solo capítulo “How to prepare effective illustrations”.

³² *Ibidem*, p.70. Cita original en inglés: “certain types of data [...] should not be tabulated. They should not be turned into figures either.”

³³ *Ibidem*, p. 84. Cita original en inglés: “can range from essentially zero (in which case, like useless tables and graphs, they should not be submitted) to a value that transcends that of the text itself.”

el color se vuelve bastante común en algunos campos como la cristalografía o la medicina clínica.³⁴ En la sexta edición, Day plantea la necesidad de que el autor se pregunte si el color es realmente útil para contar la historia que se quiera contar o si es meramente decorativo o hasta capaz de causar distracción.³⁵ Por último, hace alusión a los dibujos (*line drawings*) que en algunas áreas (como la biología descriptiva y la anatomía) pueden ser superiores a las fotografías por destacar detalles significativos y que por su delicadez artística requirieron para su realización de un ilustrador profesional.³⁶

Aparte de proporcionar consejos prácticos para la presentación de las ilustraciones, Day advierte a los autores -en búsqueda de credibilidad- no caer en la tentación de

“convertir unos pocos datos en una gráfica o cuadro impresionante. Mi consejo es no lo haga. Sus pares más experimentados y la mayoría de los editores científicos no se dejan engañar. [...] Los intentos de maquillar datos científicos normalmente están condenados al fracaso.”³⁷

Otro autor multicitado es Michael J. Katz quien recomienda construir representaciones visuales para los conjuntos de datos más importantes por la razón de que

³⁴ Véase *ibidem.*, pp. 89-90. En la sexta edición se recomienda poner atención a seleccionar bien la revista en cual publicar para garantizar una reproducción de calidad de estas ilustraciones importantes.

³⁵ Day (2006), *op. cit.*, p. 104.

³⁶ Day (1998), *op. cit.*, p. 91.

³⁷ *Ibidem*, pp. 70-71. Cita original en inglés: “convert a few data elements into an impressive-looking graph or table. My advice is don't do it. Your more experienced peers and most journal editors will not be fooled. [...] Attempts to dress up scientific data are usually doomed to failure.”

“Los humanos son animales visuales y las imágenes son una manera excelente para nosotros de comunicarnos. Más allá de esto, las figuras ofrecen beneficios a los científicos al escribir un artículo. En primer lugar, el ejercicio de transformar una idea en una forma gráfica ayuda a hacer más precisa una idea, y un buen diagrama o gráfico puede ser un modelo autocontenido en sí mismo. En segundo lugar, las figuras pueden proveer una prueba independiente de precisión y coherencia de una idea porque la lógica visual es frecuentemente diferente de la lógica narrativa usada en las secciones principales de un artículo.”³⁸

Asimismo destaca que “idealmente, una figura y su leyenda serán autoexplicativos, una pequeña historia en sí misma.”³⁹

Sin embargo, ambos autores, como la mayoría de sus colegas, no van más allá de una valoración general del material visual y no profundizan en su análisis. En realidad no existen muchos estudios concretos al respecto. Destaca el trabajo de Per O. Seglen ⁴⁰ quien desde una perspectiva cuantitativa analizó el contenido de 143 artículos de investigación publicados en revistas biomédicas. Seglen llegó a la conclusión de que el contenido informativo depende de tres factores: 1) el número de páginas que raramente excede de un límite superior de 7 a 8 páginas que parece ser la norma, 2) de la cantidad de figuras y cuadros por página que, de manera similar, llega a un punto de saturación en uno por página y 3) de la densidad de información en cada figura o cuadro y donde no se observó un límite

³⁸ 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. 51. Cita original en inglés: “Humans are visual animals, and pictures are an excellent way for us to communicate. Beyond this, figures offer special benefits to the scientist as he or she writes a paper. First, the exercise of transforming an idea into graphic form helps to make the idea precise, and a good diagram or graph can be a self-contained model in itself. Second, figures can provide an independent test of thoroughness and the coherence of an idea because visual logic is often different from the narrative logic used in the main sections of the paper.”

³⁹ *Ibidem*, pp. 51-52. Cita original en inglés: “Ideally, a figure and its legend will be self-explanatory, a little story in itself.”

⁴⁰ Seglen, Per O., “Quantification of scientific article contents”, en *Scientometrics*, vol. 35, núm. 3, 1996, pp. 355-366.

superior. Seglen propone la aplicación de estos resultados en la evaluación de la productividad científica y en el proceso de dictaminación. Aunque la propuesta es interesante, el trabajo es criticable porque las variables no se definen con claridad, la asignación de un puntaje dependiente del tipo de figura es arbitraria y, quizá lo más importante, no contempla las imágenes con información cualitativa.

Solamente algunos autores que se dedican a cuestiones de la comunicación científica con perspectiva bibliotecológica, donde destacan los holandeses Kircz y Roosendaal⁴¹, frente a un futuro cercano donde las imágenes tendrán una gran importancia, sugirieron la pertinencia de realizar estudios que analicen en profundidad su papel y la necesidad de considerarlas como objetos independientes, lo que tiene implicaciones para el proceso de dictaminación, por ejemplo:

“Las imágenes serán más que meras ‘iluminaciones’ en el texto. Imágenes tienen su propio valor intrínseco. [...] Es interesante que en el proceso de dictaminación no hay reglas establecidas para considerar las imágenes como objetos independientes. En el análisis de imágenes y sus roles serán útiles los resultados de estudios de textos.”⁴²

Y desde el campo científico, la fotógrafa Felice Frenkel, afirma desde su perspectiva práctica en las ciencias, que

⁴¹ Kircz, Joost G. y Hans E. Roosendaal, “Understanding and shaping scientific information transfer”, en D. Shaw y H. Moore (eds.), *Electronic publishing in science. Proceedings of the ICSU Press/UNESCO expert conference*, Paris: UNESCO, 1996.

⁴² *Ibidem*. Cita original en inglés: “‘Pictures will be more than just ‘illuminations’ in the text. Pictures have their own intrinsic value. [...] Interestingly, in the peer review process, no standard rules are established to review pictures as independent objects. In the analysis of pictures and their roles, the results of textual studies will be helpful.”

“...en los años venideros, las imágenes asumirán crecientemente un papel prominente en la comunicación de información científica. [...] Este nuevo proceso en la comunicación científica va a producir un tipo diferente de pensamiento periodístico al proveer herramientas visuales más ricas e informativas no solamente al público en general, sino también a la comunidad científica en su conjunto. Y con este nuevo pensamiento emergerá también, aunque tardío, un merecido respeto al poder de las imágenes.”⁴³

Fuera del campo de los estudios bibliotecológicos sobre la comunicación científica existen dos áreas que se dedican especialmente al estudio de las ilustraciones científicas: la historia de la ciencia y la enseñanza de la ciencia.

1.3 La ilustraciones científicas y su estudio en otras áreas del conocimiento

1.3.1 Los estudios de la ciencia

“Las ilustraciones en la ciencia se entienden en una manera limitada –como imágenes que deben ser vistas con un texto asociado.”⁴⁴

⁴³ Frenkel, Felice, “Technology enables new scientific images to emerge”, *Nieman Reports*, otoño 2002, pp. 29-30. Cita original en inglés: “...in the years ahead, pictures will assume an increasingly prominent role in communicating scientific information. [...] This new process in science communication will produce a different kind of journalistic thinking by contributing richer and more informative visual tools not only to the public, but to the research community as a whole. And with this new thinking will emerge a well deserved, if belated, respect for the power of the image.”

⁴⁴ Baigrie, Brian S. (ed.), *Picturing knowledge. Historical and philosophical problems concerning the use of art in science*, Toronto: University of Toronto Press, 1996, p. xviii. Cita original en inglés: “Illustrations in science are understood in a circumscribed way –as images that are meant to see with associated text.”

El interés académico en las representaciones visuales en el ambiente de la investigación científica por parte de los historiadores de la ciencia es relativamente reciente. Como pionero se puede nombrar a Martin Rudwick⁴⁵ con su artículo sobre el lenguaje visual en la geología que fue publicado en el año de 1976. A partir de allí historiadores y filósofos de la ciencia las han analizado desde perspectivas distintas y en sus diferentes ángulos. Iniciando con los estudios sobre la ciencia con perspectivas sociológicas o semióticas propuestas por Michael Lynch y Steve Woolgar⁴⁶, se registró en los años noventa un verdadero *boom* que se manifestó en gran cantidad de publicaciones entre las que destacan el libro de Brian J. Ford⁴⁷ y de Harry Robin⁴⁸ así como las compilaciones editados por Brian S. Baigrie⁴⁹ y por Caroline A. Jones y Peter Galison⁵⁰.

La historia moderna de la ilustración científica se ubica en el siglo XVI con la introducción de textos científicos acompañados de ilustraciones impresas. Su importancia es resaltada por Ford:

“La ilustración científica tiene varias funciones. Añade dignidad a un texto. Puede encubrir una verdad detrás de símbolos. Pero esencialmente tiene dos propósitos

⁴⁵ Rudwick, M., “The emergence of a visual language for geological sciences”, en *History of Science*, núm. 14, 1976, pp. 148-195.

⁴⁶ Véase Lynch, Michael y Steve Woolgar (eds.), *Representation in scientific practice*, Cambridge: MIT, 1990.

⁴⁷ Ford, Brian J., *Images of science: a history of scientific illustration*, New York: Oxford University Press, 1993.

⁴⁸ Robin, Harry, *Die wissenschaftliche Illustration. Von der Höhlenmalerei zur Computergraphik*, Basel: Birkhäuser, 1992.

⁴⁹ Baigrie, *op. cit.*

⁵⁰ Jones, Caroline A. y Peter Galison (eds.) *Picturing science, producing art*, London: Routledge, 1998.

principales –una función didáctica, pero también tiene un propósito por separado y secundario: el registro del estado de la comprensión humana.”⁵¹

“La ciencia es demasiado importante para ser ignorada, y las imágenes que transmiten sus verdades actuales merece de nuestra atención urgente.”⁵²

Las ciencias naturales se interesan en gran medida en fenómenos que quedan ocultos para los sentidos humanos por lo que predominan imágenes que resultan de observaciones a los mundos macro y microscópicos o la visualización de procesos incompatibles con la percepción humana por lo que Baigrie afirma que

“Representaciones visuales [...] nos proporcionan imágenes tangibles de trozos y pedazos de la naturaleza, pero no con la intención de registrar lo que es visible.”⁵³

En cuanto al lugar que se le adjudica a las imágenes en la ciencia, Ronald Giere⁵⁴ lo analiza minuciosamente dependiendo de la concepción que se tiene de la actividad científica misma. Por lo menos en lo que se refiere al mundo anglófono, el empirismo lógico dominaba la concepción de la ciencia en los años posteriores a la segunda guerra mundial. Concibe el conocimiento científico inmerso en teorías que idealmente son pensadas como sistemas axiomáticos interpretados, reinando la posición positivista de la lógica y la verdad donde no puede existir un papel fundamental para expresiones no-lingüísticas como las imágenes. El

⁵¹ Ford, *op. cit.*, p. 2. Cita original en inglés: “Scientific illustration has many functions. It adds dignity to a text. It can conceal a truth behind a welter of high-flown symbols. But essentially there are two main purposes –a didactic function, but also a separate and secondary purpose: the recording of the state of human understanding”.

⁵² Ford, Brian J., “Images imperfect, the legacy of scientific illustration”, en *1996 Yearbook of Science and the Future*, Chicago: Encyclopedia Britannica, 1996, p. 157. Cita original en inglés: “Science is too important to be ignored, and the images which convey its current truths deserve our urgent attention.”

⁵³ Baigrie, *op. cit.*, p. xix. Cita original en inglés: “Visual depictions [...] give us tangible images of bits and pieces of nature, but they do not aim at recording what is visible.”

empirismo lógico empezó a desvanecerse en los sesentas con la propuesta de Kuhn al concebir la ciencia como una actividad ya no productora de verdad, sino como la de armar rompecabezas. Siguiendo a Giere, a mediados de los años setenta, desde el campo de la sociología, se inicia una corriente que visualiza a la ciencia como socialmente construida. Fueron estos sociólogos de carácter relativista entre los primeros que investigaron el papel de las imágenes, diagramas y otras representaciones no proposicionales en la ciencia bajo un enfoque constructivista. Las corrientes menos radicales afirman que los científicos intentan representar su mundo, pero que no lo logran o no pudieron materializar sus creencias, mientras los más radicales niegan que la ciencia sea siquiera una actividad representacional.

Autores como Giere proponen buscar un camino entre positivismo filosófico y relativismo sociológico, ya que ambas escuelas, a su manera, niegan cualquier papel representacional genuino para las imágenes visuales en la ciencia.⁵⁵ Por otra parte, desde una perspectiva posconstructivista, Pang⁵⁶ 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.

En la actualidad muchas investigaciones giran alrededor del valor epistémico de las representaciones visuales en la ciencia. Hay quienes las definen como

⁵⁴ Véase Giere, Ronald N., "Visual models and scientific judgement", en Baigrie, Brian S. (ed.), *op. cit.*, pp. 269-271.

⁵⁵ Véase *ibidem*, p. 172.

⁵⁶ Pang, Alex Soojung-Kim, "Visual representation and post-constructivist history of science", en *Historical Studies in the physical and biological sciences*, vol. 28, 1997.

artefactos o herramientas⁵⁷, o bien se afirma que están impregnadas por teorías⁵⁸, que es posible hacer inferencias a partir de ellas y es ampliamente compartido que sirven a la persuasión⁵⁹. Ford sintetiza la problemática que gira alrededor de la autenticidad de las imágenes y que de ninguna manera es exclusiva de la era digital, sino que existe desde los tiempos del copiado de dibujos:

“A veces los resultados científicos son exagerados para que aparezcan más glamorosos que un mero realismo. Otros son difíciles de interpretar y confunden y le privan su derecho de elección al espectador principiante. En otras ocasiones fueron distorsionados para coincidir con preconcepciones científicas. Ocurre que se presentó un error en un dibujo publicado anteriormente para que sea copiado por otros hasta entrar a la ciencia vernácula como una realidad y será difícil de corregirlo ya. La publicación de un dibujo tiene el efecto de dignificar una inexactitud espuria y de perpetuarla.”⁶⁰

Otra vertiente interesante que se explora desde la sociología de la ciencia es encontrar parámetros para comparar el estatus cognitivo de las ciencias y su división en ciencias duras y blandas. Smith y otros⁶¹ aplicaron la noción “grafismo” de Bruno Latour a la jerarquía entre las ciencias y afirman que existe una correlación del uso de gráficos con la llamada “dureza” de una disciplina.

⁵⁷ Véase por ejemplo Heintz, Bettina y Jörg Huber (eds.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich: ITH-Voldemeer/Wien: Springer, 2001, p. 28.

⁵⁸ Véase Topper, David, “Towards an epistemology of scientific illustration”, en Baigrie, *op. cit.*, p. 222.

⁵⁹ Véase Hall, Bert S., “The didactic and the elegant, en *ibidem*, pp. 36-37.

⁶⁰ Ford, *op. cit.*, p. 134. Cita original en inglés: “Sometimes, scientific findings are exaggerated in order to appear more glamorous than mere realism. Others are made hard to interpret, confusing and disenfranchising the tyro spectator. On other occasions they are distorted to fit scientific preconceptions. In some instances, there has been a mistake in an early published drawing which is copied by others until it enters the vernacular science as reality and can be hard to correct. The publication of a drawing has the effect of dignifying the spurious and perpetuating inaccuracy.”

⁶¹ Smith, Laurence D.; Best, Lisa A.; Stubbs, A. Alan, Johnston, John y Andrea Bastiani Archibald, “Scientific graphs and the hierarchy of sciences: a Latourian survey of inscription practices”, en *Social Studies of Science*, vol. 30, núm. 1, febrero, 2000, pp. 73-94.

1.3.2 La enseñanza de la ciencia

Existe una gran variedad de estudios sobre ilustraciones en textos científicos, principalmente en libros de texto, desde la preocupación por una mejor y más efectiva enseñanza de las ciencias. Parten de conocimientos ligados a los descubrimientos de las ciencias cognitivas⁶² que ayudaron a la imagen adquirir un papel fundamental en la didáctica en los procesos de aprendizaje y de memorización.

Las ciencias cognitivas buscan entender los procesos propios de la adquisición y la generación de conocimientos y sus enfoques pronto irrumpieron en el terreno de la psicología que tras décadas de predominio de los códigos y representaciones abstractas, recuperó la importancia de las imágenes mentales para la comprensión y el aprendizaje de la información que recibimos. Existe una interacción compleja entre estas imágenes mentales (también llamadas representaciones internas) y las imágenes concretas llamadas representaciones externas, pero en importancia las mentales siempre habían predominado en todas las teorías y, como en la investigación sobre la inteligencia artificial, fueron vistos sobre todo como estímulo para imágenes mentales. Es Zhang que reivindica la importancia de las representaciones externas y enfatiza que ellas

⁶² El término *cognición* se refiere a todos los procesos mediante los cuales el ingreso sensorial es transformado, reducido, elaborado, almacenado, recobrado o utilizado.

„necesitan ser consideradas de manera seria, no como algo trivial; y deben ser estudiadas por derecho propio, no como algo periférico a las representaciones internas.”⁶³

Igualmente las teorías sobre el procesamiento de la información visual interesan a los estudiosos de la didáctica de la ciencia. Entre dichas teorías encontramos la teoría pionera de la codificación dual de Paivio⁶⁴ que parte de un procesamiento diferente para lenguaje e imágenes, produciéndose así un efecto de “picture superiority” ya que es posible que el código verbal pueda ser traducido en uno pictórico y viceversa. Y por el hecho de que muchas imágenes son codificados doblemente, ya que pueden contener información verbal, permiten ser memorizadas más fácilmente. Especialmente interesantes son las investigaciones acerca de los procesos pre-atentivos y atentivos⁶⁵ mediante los cuales los seres humanos interactúan con su mundo. Los procesos pre-atentivos operan de manera rápida y automática y exigen pocos recursos cognitivos al ubicarse en el nivel más bajo de la percepción. Estos procesos permiten distinguir objetos y patrones que ya habían sido detectados por la psicología Gestalt, y se ubican fuera del campo del pensamiento consciente. Por lo contrario, los procesos atentivos se encuentran bajo el control cognitivo y operan en respuesta a lo que ya conocemos, que necesitamos y es de nuestro interés, con implicaciones para la interpretación y la comprensión de la información que se recibe.

⁶³ Zhang, J. , “The nature of external representations in problem solving”, en *Cognitive Science*, núm. 21, 1997, p. 179. Cita original en inglés: “...need to be considered seriously, not as something trivial; and they need to be studied on their own right, not as something peripheral to internal representations”.

⁶⁴ Paivio, Allen, *Imagery and verbal processes*, New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1971.

⁶⁵ Véase Winn, William, “Color in document design”, en *IEEE Transactions of Professional Communication*, vol. 34, núm. 3, septiembre, 1991, p. 180.

Otro aporte es la discusión sobre las funciones de las imágenes en el ámbito educativo. Así se distinguen, según Weidenmann⁶⁶ tres tipos generales de imágenes:

- las *informativas* que pretenden transmitir información pictorialmente codificada de la manera más clara y completa
- las *artísticas* que se caracterizan por ser susceptibles a diferentes interpretaciones, ya que no es la univocidad y la claridad que importan, sino sobre todo su vertiente estética
- las de *entretenimiento* y cuyo contenido informativo no es fundamental

Asimismo existe una gran cantidad de clasificaciones por sus funciones cognitivas⁶⁷ que son:

- *Decorativo* (son irrelevantes para el contenido del texto, pero sirven para aumentar la motivación y mantener la atención)
- *Representacional* (tienen una relación estrecha con el texto. Son representaciones directas para acentuar o concretizar algún objeto)
- *Organizativo* (sirven a la formación de coherencia del texto)

⁶⁶ Véase Weidenmann, Bernd, "Informierende Bilder", en Bernd Weidenmann (ed.), *Wissenserwerb mit Bildern*, Bern: Hans Huber, 1994, p. 9

⁶⁷ Según Levin, J. R., Anglin, G. J. y Carney, R. N., "On empirically validating functions of pictures in prose", en M. W. Dale y A. H. Harvey (eds.), *The psychology of illustrations*, vol. 1, New York: Springer Verlag, 1987, pp. 51-86 y Mayer, R. E., "Illustrations that instruct", en R. Glaser (ed.), *Advances in instructional psychology*, vol. 10, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1993, pp. 253-284.

- *Interpretativo* (clarifican o simplifican asuntos difíciles de entender)
- *Transformativo* (pretenden servir a la memorización)

También se proponen categorías para las diferentes formas de representación⁶⁸ dividiendo las imágenes en tres tipos básicos: Las imágenes realistas que tienen *similitud* con el objeto o fenómeno representado, las imágenes análogas que presentan una *analogía*, valga la redundancia, con el objeto o asunto representado, utilizando elementos realistas de manera metafórica o esquemática y las imágenes lógicas que *no* tienen *similitud* con un objeto o asunto representado, siendo la analogía construida. Como estrategias de su realización se emplean tanto códigos de representación como de orientación:

- Códigos de representación son aquellos que ayudan al reconocimiento del objeto representado, como por ejemplo la perspectiva, los sombreados, el color, etcétera.
- Códigos de orientación son aquellos que buscan guiar la mirada o estimular operaciones cognitivas al destacar detalles mediante el delineamiento, enmarcado o la distorsión del tamaño o la utilización de flechas.

⁶⁸ Véase Weidenmann, *op. cit.* y Schnotz, Wolfgang, "Wissenserwerb mit logischen Bildern", en Bernd Weidenmann (ed.), *Wissenserwerb mit Bildern*, Bern: Hans Huber, 1994, p. 102.

Recapitulando:

Siendo las ilustraciones que nos ocupan en el contexto de esta investigación producto de la investigación que se reporta (o, en su caso, de otras investigaciones afines) no están concebidas de manera primordial para fines didácticos, sino para transmitir resultados en una comunicación entre pares. Sin embargo, su complejidad e interdisciplinariedad intrínseca, apenas esbozadas en este apartado, exigen integrar aportaciones que rebasan las perspectivas expuestas en este capítulo y llevan a la necesidad de elaborar un marco teórico y metodológico propio que auxilie a los estudios bibliotecológicos en comprender y valorar el papel de las ilustraciones en los artículos científicos.

2. MARCO TEORICO Y METODOLOGICO

2.1 Las ilustraciones como imágenes visuales

Desde el punto de vista teórico, esta investigación se adhiere a la corriente del *pictorial* o *iconic turn*, términos acuñados por William J. Thomas Mitchell¹ y Gottfried Boehm² respectivamente en analogía con el *linguistic turn*³ de los años 60s que pregonaba un giro hacia el análisis del lenguaje⁴ tanto en el ámbito filosófico como en las humanidades en general. El nuevo giro hacia las imágenes ocurrió en los años noventa⁵ y se manifiesta en el creciente interés académico en el estudio de los fenómenos visuales y la búsqueda de nuevas herramientas de análisis. Se habla inclusive de un traslado epistémico de la palabra hacia la imagen y el fin de la dominación del *logos*.

Varias disciplinas tienen entre sus objetos de estudio las imágenes. 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 estéticos. Las ciencias de los medios y de la comunicación estudian los mensajes contenidos en las imágenes, mientras la semiótica enfatiza los signos. La psicología, las ciencias cognitivas y las neurociencias se dedican sobre todo a cuestiones de la visión y la percepción. La arqueología, la antropología y la

¹ Mitchell, William J. Thomas, *Picture theory*, Chicago, 1994.

² Boehm, Gottfried, *Was ist ein Bild?*, München: Fink, 1994.

³ Véase Rorty, Richard (ed.), *The linguistic turn: recent essays in philosophical method*, Chicago: University of Chicago Press, 1967.

⁴ Textualidad y discurso.

etnología la estudian como objeto cultural, mientras las disciplinas relacionadas con el arte y el diseño dan mayor peso a la forma, el estilo y la composición.

La variedad de las distintas disciplinas conlleva a que exista en cada ámbito un concepto predominante acerca de la imagen y su estudio⁶, igualmente con metodologías divergentes. Inicialmente se entendía a la imagen únicamente como *Abbild*, copia, reproducción o ilustración y no como un fenómeno autónomo. En su estudio predominan la semiótica que toma como base las herramientas del análisis del lenguaje, y la historia del arte, disciplina que se erige como madre del estudio visual mediante la iconografía y la iconología donde predomina la descripción por medio de la palabras. Actualmente hay un consenso de que la imagen es un fenómeno complejo que, para ser abarcado adecuadamente, requiere de un proceder interdisciplinario.⁷ No hay consenso, sin embargo, sobre si es posible una ciencia de la imagen unificada, sobre todo si se considera la vastedad de la literatura sobre lo que es y no es una imagen. Gottfried Boehm sintetiza este dilema con la siguiente reflexión:

“Quien pregunta acerca de la imagen, pregunta acerca de imágenes, una variedad incalculable que nos hace parecer imposible de guiar a la ciencia por un camino viable. ¿De qué imágenes hablamos: imágenes pintadas, pensadas, soñadas?”

⁵ Inició en los años ochenta 80s desde la semiótica con Roland Barthes, con algunas excepciones como la de Pierre Bourdieu quien desde la sociología del arte se colocó a la vanguardia ya en los años sesenta.

⁶ Véase Belting, Hans, *Bild-Anthropologie*, München: Fink, 2001, pp. 14-15.

⁷ Véase Sachs-Hombach, Klaus, “Konzeptionelle Rahmenüberlegungen zur interdisziplinären Bildwissenschaft”, en Klaus Sachs-Hombach (ed.), *Bildwissenschaft. Disziplinen, Themen, Methoden*, Frankfurt a/M: Suhrkamp, 2005, pp. 11-20.

Pinturas, metáforas, gestos? Imágenes especulares, ecos, mimetismos? ¿Qué tienen en común que se podría generalizar?"⁸

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 queda claro que se debería hablar de **las imágenes** en plural o especificar de qué imagen se habla.

En el estudio de las ilustraciones sin duda el análisis se limita a lo que son las imágenes visuales, adjetivización que en español podría parecer una tautología, pero que es obligada para poder distinguirlas, en primer lugar, de las imágenes mentales, pero también de otros términos muy comunes en su uso como la imagen pública, la imagen acústica, la imagen óptica, la imagen especular, etcétera.⁹ Adopto la caracterización pragmática de Sachs-Hombach¹⁰ de que las imágenes de las que nos ocupamos aquí usualmente tienen materialidad¹¹, son perceptibles mediante la vista, son artificiales y tienen cierta durabilidad y como tales siempre están inmersas en algún proceso de comunicación.

⁸ Boehm, Gottfried, "Die Wiederkehr der Bilder", en Boehm, Gottfried (ed.), *Was ist ein Bild?*, München: Fink, 1994, p. 11. Cita original en alemán: "Wer nach dem Bild fragt, fragt nach Bildern, einer unübersehbaren Vielzahl, die es fast aussichtslos erscheinen lässt, der wissenschaftlichen Neugier einen gangbaren Weg zu weisen. Welche Bilder sind gemeint: gemalte, gedachte, geträumte? Gemälde, Metaphern, Gesten? Spiegel, Echo, Mimikry? Was haben sie gemeinsam, das sich allenfalls verallgemeinern ließe?"

⁹ Se profundiza la discusión acerca de las imágenes visuales en el Capítulo 5 dedicado a la tipología.

¹⁰ Sachs-Hombach, Klaus, *op cit.*, p. 13

¹¹ Sin embargo la condición de materialidad queda en duda cuando pensamos en imágenes digitales que requieren de dispositivos para ser accesibles a la vista.

Las ilustraciones, dentro de este marco, son así imágenes visuales de tipos variados que comparten la particularidad de encontrarse ligadas a un texto, sea en forma de lámina o insertada en el texto mismo. Estudiar las ilustraciones como imágenes visuales las libera de funciones específicas que se le han adjudicado y les da un estatus de autonomía analítica ya que texto verbal e imagen son reconocidas como dos formas distintas de expresión: el primero lineal, la segunda sinóptica en su naturaleza y con la especificidad de presentar información y conocimiento mediante una preparación sensorial.

A continuación se hace un recuento de los tópicos fundamentales que desde una perspectiva interdisciplinaria deben ser tomados en cuenta para el estudio de las imágenes visuales: la visión, la cultura, las funciones, la iconocidad, la tecnología, la estética, las emociones y, para las ilustraciones, la relación entre texto e imagen.

La visión:

La visión es uno de los sentidos que consiste en la habilidad de detectar la luz y de interpretarla, es decir, ver. La visión es en realidad un sistema óptico parte del sistema nervioso central, cuyo componente primero es el ojo. En su interior, la retina compuesta por células conos y bastones realiza los pasos iniciales de un proceso perceptivo mediante la proyección a través del nervio óptico y el núcleo geniculado lateral de la imagen a la corteza visual del cerebro. En el cerebro comienza un proceso de inversión, es decir, la imagen se voltea y se llevan a cabo

tareas complejas de (re)construcción de un mundo tridimensional a partir de una proyección bidimensional.¹²

Existen varias teorías que buscan la explicación de este fenómeno.¹³ El estudio psicofísico de la percepción inicia en el siglo XIX con Hermann Helmholtz que desarrolló una teoría de la inferencia inconsciente que sostiene que la visión deriva de una interpretación probable de datos incompletos, lo que implica que deben existir suposiciones previas sobre el mundo. Las ilusiones ópticas serían entonces ejemplos donde la inferencia no operó correctamente. A comienzos del siglo XX se hace fuerte la escuela de *Gestalt* con sus contribuciones al estudio de la percepción, definiendo una serie de principios de organización perceptiva que permiten captar de forma integral una forma total (*Gestalt*) basada en las leyes de figura-fondo y de la buena forma mediante seis factores básicos que determinan la percepción visual: la proximidad, la similaridad, la continuidad, la simetría, la clausura o cierre y el tamaño relativo o área (Figura 2.1).

¹² Véase “Visión” en *Wikipedia* (consultado en <http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n> el 24 de octubre 2006)

¹³ Véase “Visual perception” en *Wikipedia* (consultado en http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_perception el 24 de octubre 2006)

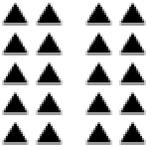
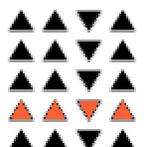
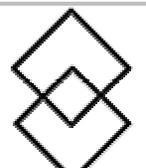
<p>Proximidad. Los objetos cercanos entre si tienden a percibirse como agrupados.</p> <p>La figura adjunta no parece constar de 4 hileras de triángulos sino de 2 grupos de 2 hileras.</p>	
<p>Similitud. Los elementos que comparten características similares como forma, color, orientación, tamaño o textura tienden a considerarse como agrupados.</p> <p>Los triángulos invertidos se perciben como una columna. Los triángulos rojos como una fila.</p>	
<p>Continuidad. Es más probable que construyamos la percepción de una entidad visual a partir de elementos que son continuos y muestran transiciones suaves.</p> <p>La figura se percibe como una X ondulada en vez de como cuatro curvas que confluyen en un punto.</p>	
<p>Simetría. Si en los elementos de una figura existe simetría, se tiende a percibir el conjunto simétrico como un todo, en vez de sus partes por separado.</p> <p>Se perciben 2 cuadrados superpuestos en vez de 2 figuras simétricas tocándose por las esquinas.</p>	
<p>Clausura o Cierre. Tendemos a ver figuras completas o cerradas a partir de contornos, incluso aunque sean incompletos. Un contorno cerrado induce una fuerte tendencia a dividir el espacio en dentro y fuera del mismo.</p> <p>Se percibe un pentágono, un cuadrado, un círculo y una elipse, a pesar de que ninguno lo es realmente.</p>	
<p>Tamaño relativo o Área. En dos figuras que se superponen, la más pequeña se percibe como objeto y la mayor como fondo.</p> <p>La estrella se percibe como el objeto y la elipse como fondo.</p>	

Fig. 2.1: Principios gestálticos¹⁴

Asimismo se demostró que existen diferencias individuales que pueden afectar la percepción como problemas con la vista, pero también influyen factores subjetivos

¹⁴ Tomada de Dürsteler, Juan C., "Gestalt e impulso visual", en *Infovis.net*, mensaje num. 19, 2000 (consultado en <http://www.infovis.net> el 4 de septiembre de 2002).

como personalidad, estilos cognitivos, género, ocupación, edad, valores, actitudes, motivaciones y creencias.

Las investigaciones sobre el color aportan todavía más material intrigante ya que el color empieza a existir cuando nuestra percepción produce la impresión cromática: la luz es percibida sobre la retina como estímulo y es procesada en nuestro cerebro en una percepción de color. Los colores son así ilusiones en sí mismas y de sí mismas.

En lo que respecta a la percepción del color, es importante destacar que nuestros ojos son capaces de distinguir muchísimo más matices de color que matices de la escala de grises lo que se aprecia claramente en la siguiente imagen (Figura 2.2).

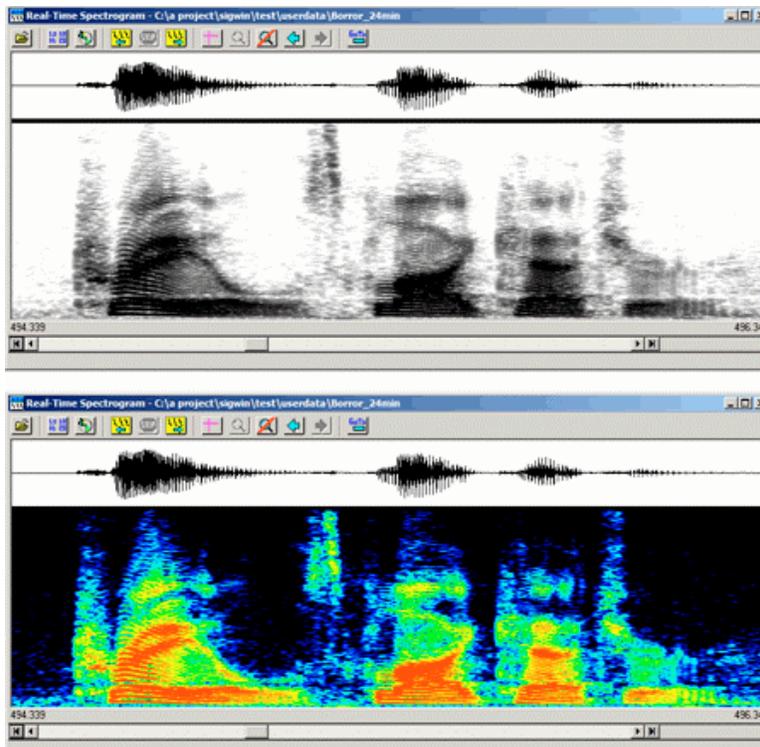


Fig. 2.2: Aplicación de color falso a densidades representadas

en blanco y negro

Hoy en día predominan las investigaciones sobre la visión en el campo de las neurociencias que abarcan el sistema visual de manera interdisciplinaria. ¿Pero por qué interesa esta discusión en el caso de las ilustraciones? Las bases fisiológicas y neuronales de la visión deben regir las pautas para un buen diseño de la presentación de información, pero también pueden ser utilizadas mediante diseños específicos¹⁵ o la conjunción de ciertos colores¹⁶ para inducir determinadas interpretaciones. Dos ejemplos ilustran aquí algunos problemas aludidos:

La ilusión de Zöllner (Figura 2.3), un astrofísico alemán, fue presentada en 1860 y muestra como una serie de líneas verticales ven aparentemente modificados su paralelismo por la influencia de pequeñas rectas oblicuas.

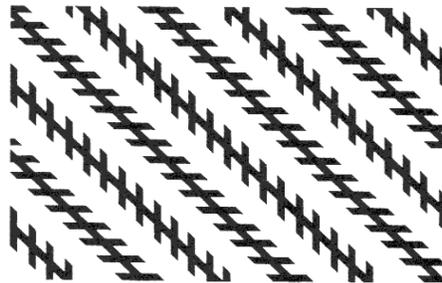


Fig. 2.3: Ilusión óptica de Zöllner

¹⁵ Recomiendo ver la siguiente colección de ilusiones ópticas: “Optical illusions” de *Wikipedia* en http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_illusions e imágenes en movimiento en “Optical illusions and visual phenomena” en <http://www.michaelbach.de/ot/>.

¹⁶ Tampoco se deben olvidar a las personas daltónicas.

Otra ilusión geométrica muy conocida es sin duda la de Müller-Lyer (Figura 2.4) donde dos segmentos de igual longitud ven alterada la percepción que tenemos de ellos al añadirles otros segmentos en forma de flecha en sus extremos, de manera que uno de ellos parece mayor. Por supuesto, el primer conjunto es de mayor longitud al estar las flechas orientadas hacia fuera, pero lo que parece mayor es el propio segmento horizontal.

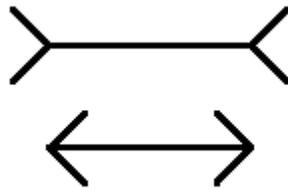


Fig. 2.4: Ilusión óptica de Müller-Lyer

El mayor problema que ronda la percepción visual es precisamente que lo que se ve no es simplemente una mera traducción del estímulo retinal, es decir, de la imagen que se forma sobre la retina, sino todo una elaboración cognitiva debido a factores físicos en conjunción con factores sociales y culturales. Max Horkheimer, basándose en Marx, enfatiza que la visión, al igual que los otros cuatro sentidos, es inseparable de los procesos sociales de manera que

“Los hechos que nuestros sentidos nos presentan, están formados socialmente de dos maneras. Mediante el carácter histórico del objeto percibido y mediante el carácter histórico del órgano perceptor.”¹⁷

¹⁷ Véase Max Horkheimer citado en David Michael Levin (ed.), *Sites of vision. The discursive construction of sight in the history of philosophy*, Cambridge, Mass. y London: MIT, 1999 p. 63, nota 1. Cita original en inglés: “The facts which our senses present to us are socially performed in

La cultura:

A la imagen se le puede adjudicar una conceptualización antropológica y es así, como dice Belting, “más que un producto de la percepción. Es el resultado de una colectivización personal y colectiva.”¹⁸ En la sociedad occidental la imagen, y sobre todo las imágenes producidas por aparatos como la fotografía, cuentan con un poder casi teológico. Ver para creer, dice el dicho, y las imágenes visuales aportan gran parte de la evidencia. Como dice Schelske¹⁹, culturalmente la imagen es una “objetivización de un mundo ópticamente probable” y este “significado de objetivización da a las imágenes una posición privilegiada en la comunicación social, dado que su saber icónico es más veces más creíble para probar la existencia de una cosa que el saber verbal-simbólico”

Como todas las culturas, también la cultura científica se define por su lenguaje, por las representaciones simbólicas utilizadas, por su manera de pensar, sus tradiciones y sus maneras de comunicarse, es decir, por sus prácticas y sus discursos. Lo que Bourdieu²⁰ conceptualiza como “campo científico” es precisamente esta “praxis” entendida como comportamiento activo y situado incorporado a horizontes históricos y sociales, intersubjetivos y culturales.

two ways. Through the historical character of the object perceived and of the historical character of the perceiving organ.”

¹⁸ Belting, Hans, *Bild-Anthropologie. Entwürfe für eine Bildwissenschaft*, München: Fink, 2002, p. 11. Cita original en alemán; “ist mehr ein Produkt von Wahrnehmung. Es entsteht als das Resultat einer persönlichen und kollektiven Symbolisierung.”

¹⁹ Schelske, Andreas, “Visuell kommunikatives Handeln mittels Bildern”, en Klaus-Sachs-Hombach (ed.), *Bildhandeln. Interdisziplinäre Forschungen zur Pragmatik bildhafter Darstellungsformen*, Magdeburg: Scriptorum, 2001, p. 155.

²⁰ Bourdieu, Pierre, *Razones prácticas. Sobre la teoría de la acción*, Barcelona: Anagrama, 1997.

Inclusive las imágenes científicas residen en una red compleja de relaciones sociales y culturales y no muestran necesariamente el mundo tal como es, sino mediado por aspectos ideológicos.²¹ La utilización de medios visuales varía también mucho entre las ciencias llamadas duras y blandas -o entre las naturales, las exactas y las humanas-, así como dentro de las diferentes disciplinas del mismo ámbito y aun dentro de las disciplinas mismas con sus subdisciplinas y especialidades, diferencias determinadas en gran parte por las prácticas y los paradigmas dominantes en cada campo. Smith y otros ²² hasta llegan a afirmar que una práctica de uso generalizado de gráficos en textos científicos da indicios claros sobre la “dureza” de un campo determinado del conocimiento.

Las funciones:

La literatura sobre las funciones de las imágenes es de gran vastedad. Si de funciones culturales generales se trata, se pueden resumir cinco tipos básicos:²³

- La función *mágica*, función primigenia de la imagen visual que tiene su origen en las primeras imágenes que plasmó el hombre en rocas y cuevas

²¹ Un ejemplo para ello es claramente la fotografía antropológica que reafirma posiciones dominantes tanto de clase como aspectos de raza y de género. Véase Sturken, M. y Cartwright, L., “Scientific looking, looking at science”, Capítulo 8, *Practices of looking: an introduction to visual culture*, New York: Oxford University Press, 2001.

²² Véase Smith, Laurence D.; Best, Lisa A.; Stubbs, A. Alan, Johnston, John y Andrea Bastiani Archibald, “Scientific graphs and the hierarchy of sciences: a Latourian survey of inscription practices” en *Social Studies of Science*, vol. 30, núm. 1, febrero 2000, p. 82

²³ Schuck-Wersig, Petra y Gernot Wersig, “Das kommunikative Potential des Bildes”, ponencia en el Coloquio “Kommunikative Funktionen des Bildgebrauchs im Recht”, Lehrstuhl für Rechtssoziologie und Rechtsphilosophie der Ruhr-Universität, Bochum, 29-30 de junio, 2001 (consultado en <http://www.kommwiss.fu-berlin.de/427.html> 15 de abril 2004).

conocidas como pinturas rupestres. Lejos de un afán de representación fidedigna, estas pinturas fungían como mediador entre el hombre y su medio natural y cósmico. Esta tradición de conjura mágica sigue viva en las imágenes religiosas, pero también en lo profano mediante tatuajes y, por supuesto, los *graffiti* urbanos.

- La función de *orientación* procede donde las representaciones visuales transmiten indicaciones sobre como comportarse en el mundo religioso y social. Esta función tuvo gran importancia antes de que se extendiera la alfabetización de la población. Hoy en día se encuentran cada vez menos objetivos morales y religiosos en las imágenes, pero esta función se explota sin piedad en las campañas políticas o de publicidad que persiguen la inducción tramposa al voto y al consumo, respectivamente.
- La función de *identificación o proyección* es un fenómeno más tardío y ligado al desarrollo del individualismo que se plasma sobre todo en la pintura de los retratos. Con la fotografía se socializa este potencial que anteriormente estaba reservado a las élites y se producen imágenes a gran escala que dan cuenta de las estaciones de la vida, sus eventos y entornos y pueden ser mostrados a quien se deje.
- La función de *transmisión del conocimiento* es una función añeja. Para el culto y letrado, la imagen era acompañamiento y complemento del texto, mientras para el analfabeto sustituía la palabra escrita. En general, se puede hablar de cuatro dimensiones de conocimiento que las imágenes transmiten: el conocimiento metódico-analítico como en libros de texto, el

conocimiento instrumental como planos para la construcción y el conocimiento documental como en las cartas geográficas. Pero tampoco hay que olvidar el conocimiento cotidiano inherente de manera casual y no intencional en las imágenes.

- La función *sensitiva* en la cual colaboran el color, las formas y la diversidad de formas, así como la composición y los patrones que llaman la atención del sistema visual casi de manera inmediata.

Estas funciones no tienen fronteras claras entre sí. Una característica de la imagen es precisamente que muchas funciones potenciales se unen y cada imagen es un conglomerado de varias funciones o de todas ellas a la vez. Cual potencial domina depende del contexto en que se encuentra.

La iconicidad:

Además de las funciones en un contexto determinado es importante considerar los grados de iconicidad de las imágenes, es decir, más que la relación con la realidad impregnada por lo que es considerado realista por las convenciones, es el parecido o la similitud que la representación tiene con lo representado. Este isomorfismo varía a lo largo de una amplia escala desde lo figurativo hasta lo abstracto, o como Rudolf Arnheim lo describe:

“Una gama continua de formas va de los medios menos isomorfos a los que lo son más; incluye elementos intermedios como los sonidos onomatopéyicos del lenguaje, los ideogramas, las alegoría y otros símbolos convencionales.”²⁴

Entre las escalas de iconicidad más conocidas se encuentra las de Abraham A. Moles²⁵ y de Justo Villafañe²⁶, última que a continuación se presenta por su mayor claridad, aunque no especifica suficientemente en los rubros de los esquemas (Cuadro 2.1):

Cuadro 2.1: Escala de iconicidad basada en Villafañe

Grado	Nivel de realidad	Características
11	Imagen natural	Cualquier percepción de la realidad sin más mediación que las variables físicas del estímulo. Existe identidad.
10	Modelo tridimensional a escala	Restablece todas las propiedades del objeto. Existe identificación, pero no identidad. Por ejemplo, estatua.
9	Imagen de registro estereoscópico	Restablece la forma y posición de los objetos emisores de radiación presentes en el espacio. Por ejemplo, holograma.
8	Fotografía en color	Cuando grado de definición de la imagen esté equiparado al poder resolutivo del ojo medio
7	Fotografía en blanco y negro	Cuando grado de definición de la imagen esté equiparado al poder resolutivo del ojo medio
6	Pintura realista	Restablece razonablemente las relaciones espaciales en un plano bidimensional.
5	Representación figurativa no realista	Identificación con lo representado, pero las relaciones espaciales están alteradas. Por ejemplo, obra de arte cubista o caricatura.
4	Pictograma	Representa todas las características sensibles, excepto la forma. Por ejemplo, siluetas o monigotes.
3	Esquema motivado	Abstracción de características sensibles. Restablece relaciones orgánicas. Por ejemplo, organigrama o planos.
2	Esquema arbitrario	No se representan las características sensibles y las relaciones entre sus elementos no siguen ningún criterio lógico.

²⁴ Arnheim, Rudolf, *El pensamiento visual*, Buenos Aires: EUDEBA, 1976, p. 247.

²⁵ Moles, Abraham A., *La imagen. Comunicación funcional*, México: Trillas, Sigma, 1991 (reimpr. 1999), p. 104.

²⁶ Villafañe, Justo, *Introducción a la teoría de la imagen*, Madrid: Pirámide, 1985.

		Por ejemplo, señal de tráfico que indica "Ceda el paso"
1	Representación no figurativa	Abstracción de todas las propiedad sensibles y de relación. Por ejemplo, obra de arte abstracto.

La tecnología:

Lo que normalmente se despliega frente a nuestros ojos es una imagen terminada, un producto final que ha pasado por procesos varios, sobre todo si de imágenes publicadas se trata. La creación de imágenes visuales está estrechamente ligada a las destrezas técnicas y artísticas mediadas por la tecnología que impone ciertos límites a su producción y reproducción, límites que siempre han sido mayores a los del texto verbal. Las posibilidades tecnológicas establecen lo que es posible y factible y hace que ciertos tipos de imágenes sean más probables que otras e incluso imposibles en una época dada, pero también existe una relación dialéctica entre la tecnología y su apropiación que expresa tan acertadamente McLuhan:

"Nosotros moldeamos las herramientas y después las herramientas nos moldean a nosotros." ²⁷

El determinismo tecnológico que impregna la discusión acerca de las imágenes también muestra su relatividad si se reflexiona acerca del color en las publicaciones, que por mucho tiempo era difícil de imprimir y por lo tanto caro. No hace mucho tiempo que 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

²⁷ McLuhan, Marshall, *Understanding media: The extension of man*, London: Routledge, 1964.

concretarse.²⁸ 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. Hay que 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 ciencia²⁹ y juega su papel en la creciente esteticidad de las imágenes que se refleja también en la constante aparición de “galerías” de imágenes científicas en Internet y la proliferación en los ámbitos de la publicación científica de concursos³⁰ para presentar las mejores imágenes científicas.

La estética y las emociones:

Aunque no tendrá un lugar específico en la presente investigación por la imposibilidad de comprobar o refutar su impacto, no se debe ignorar las discusiones acerca de las subjetividades de las imágenes plasmadas sobre todo en la discusión sobre la estética y las emociones.

²⁸ 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 muchos tiempo más. Inicialmente el color aparece allí en las portadas y en la publicidad pagada, pero es hasta los tempranos 80s del siglo XX que 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.

²⁹ Todavía se cobra en muchas revistas, pero los fondos para la investigación consideran frecuentemente también gastos de publicación.

³⁰ Véase Suplee, Curt y Monica Bradford, "Science and engineering visualization challenge: Visualization and the communication of science", en *Science*, vol. 301, núm. 5639, 12 de septiembre, 2003, pp. 1472 – 1473 y los resultados en las tres categorías fotografía, multimedia e

El atractivo estético de una imagen se logra mediante el empleo de elementos gráficos (Figura 2.5) como la forma, el tamaño, la orientación, el grano (tamaño del elemento constitutivo de la trama o puntos de luz en el televisor o de tinta en el papel), el valor (grado de luminosidad de los puntos de luz o de tinta) y el color.³¹



Fig. 2.5: Grafemas

Su selección y combinación en un todo compositivo hace la diferencia en su impacto visual. Lo que prevalece en la literatura especializada acerca de las imágenes científicas es anteponer su funcionalidad ante cualquier otra utilidad. Está posición dominante encuentra su mayor vigencia en lo que se refiere a las ilustraciones científicas en los artículos científicos. Entre los que se ha despertado el interés por cuestiones estéticas en la ciencia son, sobre todo, los historiadores

ilustración en las páginas 1474-76. Véase slideshow en www.sciencemag.org/feature/data/vis2003

³¹ Véase Colle, Raymundo, "El contenido de los mensajes icónicos" en *Revista Latina de Comunicación Social*, núm. 18, junio, 1999 (consultado en <http://www.ull.es/publicaciones/latina/biblio/76coll/76analim1/aci1.htm> el 5 de abril de 2004). Por grafemas se entienden las unidades mínimas de escritura no susceptibles de división como por ejemplo las letras del abecedario. La teoría de la representación gráfica está basada en la obra ya clásica de Jacques Bertin, *La sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, París, La Haye: Mouton, Gauthier-Villars, 1967.

del arte. Gottfried Boehm afirma que la cuestión estética entra en vigor hasta que la imagen haya cumplido su función por la que ha sido creada³² y Peter Krieger enfatiza su función denotativa como primordial, pero sin menospreciar su potencial de catalizador³³ en la producción y distribución del conocimiento.

Pero por la intervención de plataformas computacionales y los *software* gráficos, cada vez existe más influencia del diseño en la presentación de información y hasta se llega a hablar de *aesthetical computing*. Ante la posibilidad de presentar información en diferentes formatos, seleccionar los colores, aplicar técnicas de mejoramiento de la imagen y, en su caso, utilizar metáforas visuales atractivas, el científico –ya no el ilustrador- participa activa e intencionalmente en la creación de las imágenes que, más allá de comunicar neutralmente, puede utilizar estratégicamente para llamar la atención de un público general, de instituciones financiadoras de la ciencia y de sus mismos colegas. Pero no se trata aquí de subjetividades ‘mal intencionadas’ como en el caso de intervenciones con fines fraudulentas. Algunos autores sostienen que

“el anhelo de color, pero también de formas y patrones parecen ser una necesidad básica del ser humano. La psicología sospecha que la alegría que produce ver estructuras pictóricas formales deja derivarse de predisposiciones del hombre ya que producen la atención ya desde un nivel pre-atencional del procesamiento visual.”³⁴

³² 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.

³³ Krieger, Peter, “Investigaciones estéticas sobre las ilustraciones científicas”, en *Ciencia*, vol. 53, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, p. 73.

³⁴ Schuck-Wersig, Petra y Gernot Wersig, *op. cit.*. Cita original en alemán: “Die Sehnsucht des Menschen nach Farbe ist elementar, aber auch Formen und Muster scheinen ein Grundbedürfnis des Menschen zu sein. Die Psychologie vermutet, daß die Freude an formalen Bildstrukturen sogar

Y así también los científicos, auxiliados ahora por programas computacionales accesibles, pueden dejarse llevar por sus “instintos estéticos”, como los llama el historiador del arte Martin Kemp³⁵, siendo una experiencia estética según Nelson Goodman³⁶ siempre también una experiencia cognitiva.

Pero las imágenes también evocan emociones, por lo que Horst Bredekamp afirma que

“Quien subestima el fenómeno de que las imágenes pueden provocar reacciones emocionales, corporales, no podrá acercarse a la profundidad que emana de los fenómenos visuales. [...] Imágenes, fenómenos visuales tienen una fuerza no calculable.”³⁷

Precisamente esta fuerza incalculable que está más allá de nuestro raciocinio y toca nuestra fibras sensibles, no ha sido tomada en cuenta para las ciencias donde se dice que reina la objetividad, la precisión y la funcionalidad, negando una liga entre las emociones y la estética y una necesidad que se sospecha casi básica del científico de presentar sus resultados de una manera atractiva, aunque sea con un sistema diferente de símbolos, como destaca Goodman:

auf eine Prädisposition des Menschen zurückzuführen ist, insofern als sie bereits auf einer unteren, vor-aufmerksamen Ebene der visuellen Verarbeitung Aufmerksamkeit erregen.”

³⁵ Kemp, Martin, *Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene*, Köln: Dumont, 2003, p.14.

³⁶ Goodman, Nelson, *Languages of art: An approach to a theory of symbols*, Indianapolis: Hackett Publishing Company, 2a. ed., 1976

³⁷ Horst Bredekamp citado en “Iconic turn”, en *Wikipedia* (consultado en http://de.wikipedia.org/wiki/Iconic_turn el 30 de abril 2005). Cita original en alemán: “Wer das Phänomen unterschätzt, dass Bilder emotionale, körperliche Reaktionen hervorrufen können, wird

“La diferencia entre arte y ciencia no es la misma que entre sentimiento y hecho, intuición e inferencia, deleite y deliberación, síntesis y análisis, sensación y raciocinio, concreción y abstracción, pasión y acción, lo mediato y lo inmediato, o verdad y belleza, sino en la diferencia en el dominio de ciertas características específicas de símbolos.”³⁸

Los diferentes cánones de lo que un grupo cultural considera como “bello” o como emplea el término “bello”, se refleja también en las expresiones de los médicos, en forma de oxímoron³⁹, cuando exclaman al examinar una tomografía “¡qué tumor tan bello!”.

En las reflexiones sobre cuestiones estéticas y emotivas también hay que alertar acerca de esta fuerza y su capacidad de seducción. Al mismo tiempo que una imagen emotiva puede ayudar a que se fomente el interés en la lectura detenida de un texto determinado, también es posible que „[...] la elegancia de una ilustración puede seducir al observador a aceptar como verdadero lo que no lo es”, como nos dice Hall⁴⁰.

sich der Problemtiefe, die von visuellen Phänomenen ausgeht, überhaupt nicht nähern können. [...] Bilder, visuelle Phänomene haben eine nichtberechenbare Kraft.”

³⁸ Goodman, *op. cit.*, p. 264. Cita original en inglés: “The difference between art and science is not that between feeling and fact, intuition and inference, delight and deliberation, synthesis and analysis, sensation and cerebration, concreteness and abstraction, passion and action, mediacy and immediacy, or truth and beauty, but rather a difference in domination of certain specific characteristics of symbols”.

³⁹ Figura retórica que armoniza dos conceptos opuestos en una sola expresión.

⁴⁰ Hall, Bert S., “The didactic and the elegant, in: Baigrie, *op. cit.*, p. 28. Cita original en inglés: “the elegance of an illustration may seduce the viewer into accepting as true something that is not.”

Está fuera del alcance de la presente investigación profundizar en este tema, pero seguramente serán los filósofos y sociólogos de la ciencia que en las próximas décadas se dediquen al estudio de las emociones en la práctica científica, como vaticina James W. McAllister⁴¹ y las investigaciones desde las ciencias cognitivas aportarán más datos sobre como cognición y emociones están estrechamente ligadas y el funcionamiento de procesos pre-atentivos o automáticos, tan importantes en la percepción visual, provocan reacciones determinadas.⁴²

Queda un último punto por desarrollar que para el estudio de las ilustraciones no puede faltar: **La relación texto-imagen**

Algunos representantes de la semiótica visual como Kress y van Leeuwen afirman que

“el componente visual de un texto es un mensaje organizado y estructurado independientemente –conectado con el texto verbal, pero no de manera dependiente de él, y de la misma manera, viceversa.”⁴³

En la relación texto-imagen no hablan en términos de dominancia o dependencia, sino priorizan sus estructuras internas. Por la utilidad de las categorías

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

⁴² Véase Eysenck, Michael W. y Mark T. Keane, “Cognition and emotion”, Capítulo 18, *Cognitive psychology: A students handbook*, London: Psychology Press, 5a. ed, 2005.

⁴³ Kress, Gunther y Theo van Leeuwen, *Reading images. The grammar of visual design*, London: Routledge, 1996, p. 17. Cita original en inglés: “the visual component of a text is an independently organized structured message -connected with the verbal text, but in no way dependent on it, and similarly the other way around.”

diferenciadoras me remito sin embargo a la semiótica tradicional⁴⁴ que clasifica la relación entre texto e imagen a partir de cinco situaciones:

- *Dominancia*: Las imágenes dominantes son las que proporcionan más información que el texto o información más relevante o interesante. También se trata de imágenes dominantes cuando contienen información que es entendible sin el texto.
- *Dependencia*: Domina el texto cuando la imagen sólo cumple funciones ilustrativas, decorativas o didácticas o cuando sirve como gráfica para visualizar contenidos textuales abstractos.
- *Redundancia*: Las imágenes redundantes no aportan nada para el mejor entendimiento del texto. Sin embargo, pueden por el hecho de la doble codificación del mensaje, llevar a una capacidad en lo que memorización se refiere. Esto no ocurre cuando las imágenes son meramente decorativas y, por el contrario, pueden distraer y obstaculizar la memorización del mensaje.
- *Complementariedad*: Una imagen es complementaria al texto cuando ambas fuentes informativas son necesarias para entender la combinación texto-imagen en su conjunto, es decir, la imagen llena espacios que el texto no puede cubrir y viceversa. Una relación de complementariedad existe

⁴⁴ Véase Nöth, Winfred, *Handbuch der Semiotik*, Stuttgart: Metzler, 2a. ed. rev., 1999 (consultado en <http://uni-kassel.de/fb8/privat/noeth/handbuch/> el 4 de marzo 2005).

frecuentemente porque imagen y texto cuentan con potencialidades específicas como medios distintos.

- *Discrepancia y contradicción:* La discrepancia es una coexistencia de imagen y texto sin relación aparente, mientras en el caso de la contradicción, una imagen transmite un mensaje que contradice al texto. También es posible que texto mienta falsificando el contenido de la imagen.

Después de exponer brevemente los tópicos fundamentales que desde una perspectiva interdisciplinaria deben ser tomados en cuenta para el estudio de las imágenes visuales, falta exponer las tres dimensiones en que se debe ubicar cualquier estudio de imágenes: el contexto, la producción y la recepción. Para comprender una imagen visual es necesario tomar en cuenta, en primer lugar, el **contexto** específico, es decir, todas las características relevantes del ambiente en que encontramos una imagen. Dado que los contenidos de una imagen pueden tener múltiples significados, es precisamente este contexto el que limita la polisemia inherente a la naturaleza de las imágenes visuales y proporciona un horizonte interpretativo.⁴⁵ En segundo lugar debe considerarse la historia de la **producción** de la imagen visual ya que no es reducible a su contenido informativo y a sus cualidades sensoriales, sino hay que analizar los procedimientos de la

⁴⁵ Véase Sachs-Hombach, Klaus, "Bild und Prädikation", en Klaus Sachs-Hombach (ed.), *Bildhandeln. Interdisziplinäre Forschungen zur Pragmatik bildhafter Darstellungsformen*, Magdeburg: Scriptorum, 2001, p. 69.

producción de las imágenes⁴⁶. Concebidas como artefacto, tienen una historicidad dependiente de aspectos tecnológicos que no está solamente fuera de la imagen, sino forma parte del contenido mismo.⁴⁷ Por último, hay que insistir en que una imagen no existe sin la mirada humana⁴⁸, por lo que la **recepción** se vuelve parte íntegra de los factores que hay que tomar en cuenta para un análisis completo.

2.2 Procedimiento metodológico

2.2.1 Investigación exploratoria

Se realizó una revisión de la literatura especializada acerca el contexto de las ilustraciones científicas publicadas en los artículos de investigación en las revistas *Science* y *Nature*, ubicándolas en un proceso comunicativo general común a todas las imágenes y otro específico, la comunicación científica formal, no sin tomar en cuenta las características particulares de las dos revistas y el tipo de texto que es el artículo científico. Otro contexto determinante es el contexto disciplinario. Las ciencias biológicas, como todas áreas del conocimiento, se rigen por una trayectoria académica a lo largo de la historia y que cuentan con lógicas internas propias en sus proceder. Asimismo, se hizo un recuento de los aspectos técnicos que rodea la producción y publicación de las ilustraciones científicas y se analizaron los cambios ocurridos en la era digital que hicieron posibles las

⁴⁶ Véase Münch, Dieter, "Geschichtlichkeit als Grundkategorie der Bildwissenschaft", en Klaus Sachs-Hombach (ed.), *Bildhandeln. Interdisziplinäre Forschungen zur Pragmatik bildhafter Darstellungsformen*, Magdeburg: Scriptorum, 2000, p. 123.

⁴⁷ *Ibidem*, p. 123.

visualizaciones computacionales. En cuanto a la recepción, se estudió la literatura acerca de la lectura de los artículos científicos y de las ilustraciones mismas, tomando en cuenta los diferentes soportes en que se presentan: la versión impresa y la electrónica.

2.2.2 Investigación empírica

2.2.2.1 Construcción de una tipología

“... la clasificación es ambas cosas, un proceso y un resultado final.”⁴⁹

Para poder analizar las ilustraciones en los artículos de la muestra, era imperativo construir una tipología que permita clasificarlas de manera precisa y acorde con el marco conceptual adecuado a los objetivos de la investigación. La construcción de tipologías constituye una parte fundamental del proceso de investigación enfocado a dominar la diversidad de los objetos de estudio de la realidad empírica. En principio, cada tipología es el resultado de un proceso de agrupamiento en que la gama de los objetos a estudiar es dividida en categorías o tipos basados en una o

⁴⁸ Véase Belting, *op. cit.*, p. 19.

más características buscando idealmente que los elementos que se encuentran dentro de cada tipo sean lo más similares posible entre sí y las diferencias entre los tipos lo más grande posible. Esto lleva a la necesidad de identificar características fundamentales mediante la acentuación de ciertos rasgos en un proceso de *reducción* del espacio de los atributos con el fin de crear tipos relevantes. Mientras un “tipo ideal” es una construcción mental que no existe en la realidad empírica y solamente sirve para determinar el grado de desviación que tiene un caso empírico concreto con él, un tipo empíricamente fundado solamente se puede construir si se combina el análisis empírico con conocimientos teóricos previos, adelantando agrupaciones hipotéticamente determinadas que en la investigación empírica tendrán que defenderse y concretarse en un proceso de *abducción*. Esto implica la construcción de una categoría nueva para describir o explicar un fenómeno empírico o una nueva *dimensionalización* de las categorías mediante la realización de ajustes pertinentes que la realidad empírica exige.⁵⁰

2.2.2.2 Análisis de muestra

De un total de 139 artículos de investigación publicados en el año de 2003⁵¹ se seleccionaron 102 artículos⁵² de los cuales 46 corresponden a la revista *Science* y

⁴⁹ Bailey, Kenneth D., *Typologies and taxonomies. An introduction to classification techniques*, Thousand Oaks, London, New Dehli: Sage, 1994, p. 2. Cita original en inglés: “...classification is both a process and an end result”.

⁵⁰ Véase *ibidem* y Kluge, Susanne, “Empirisch begründete Typenbildung in der qualitativen Sozialforschung”, en *Forum: Qualitative Sozialforschung. Theorien, Methoden, Anwendungen*, vol. 1, núm 1, 2000 (consultado en <http://qualitative-research.net/fqs> el 15 de marzo de 2003).

⁵¹ Solamente se consideraron los artículos que las mismas revistas denominaron “articles” o “research articles” respectivamente, excluyendo los “letters” y “reports” .

⁵² Véase el Anexo 9.1: Listado de artículos analizados

56 a *Nature*, ya que se excluyeron artículos que reportaron investigaciones en campos distintos a las ciencias biológicas como las ciencias físicas, las ciencias planetarias, la oceanografía, las ciencias de la atmósfera, la sociología y la economía. Sin embargo, se admitieron dos artículos del área de las ciencias atmosféricas por presentar implicaciones directas del clima sobre los sistemas biológicos. Se consideró que estos dos casos, pudieran servir como control externo en el proceso del análisis estadístico. Asimismo, se incluyeron dos artículos de medicina (uno cercano a la biología celular y otro de modelación de políticas de vacunación), temática más alejada de la biología, pero como parte de las ciencias de vida forman parte del campo estudiado.

Se trabajó con la impresión del formato PDF (*Portable Data Format*) de los artículos que es idéntica al artículo impreso, excepto en tres casos donde los artículos contienen inserciones en hojas plegables en papel de calidad especial que en el PDF se reducen a una sola página. Asimismo se realizó el análisis de los suplementos que solamente se publican en la versión electrónica y que contienen material suplementario en línea, denominados en lo subsecuente como SOM, por sus siglas en inglés (*Supplementary Online Material*).

Los datos recabados se anotaron en un formato de registro⁵³ para después capturarse en hojas de cálculo para su análisis estadístico.

2.2.2.2.1 Análisis cuantitativo

Para determinar la relación cuantitativa ente texto e imagen, era necesario, en primer lugar, cuantificar los conjuntos ilustrativos⁵⁴ y registrar la cantidad de cuadros que contiene cada artículo. Para conocer la composición de los artículos y los espacios que ocupan sus diferentes componentes se midieron (en centímetros cuadrados) lo que llamo *cuerpo*, es decir, el texto del artículo con sus ilustraciones y cuadros, excluyendo el título, el *abstract*, las notas y las referencias, por considerarlos sin relevancia para el análisis de las ilustraciones.⁵⁵ Dado que con la aparición de las versiones electrónicas paralelas a la publicación impresa con sus respectivos suplementos electrónicos, la revista *Science* ya no publica la sección de métodos en la versión impresa, no se incluyó en el análisis del cuerpo tampoco la sección de métodos incluida en los artículos impresos de *Nature*. Para eliminar las diferencias en *layout* y tipografía que existen en las dos revistas, los resultados de estas mediciones siempre se deben manejar como proporciones relativas, es decir, en porcentajes. Asimismo, se realizó un análisis de las correlaciones entre los diferentes componentes del cuerpo.

En cuanto al registro cuantitativo del contenido de los conjuntos ilustrativos, era imposible basarse en las indicaciones normales de etiquetar los componentes con las letras a, b, c, etcétera, sino fue necesario ver en cada caso sus componentes. En este proceso se ideó una clasificación de los conjuntos.

⁵³ Véase el Anexo 9.2: Formato de registro

⁵⁴ Se prefirió hablar de conjuntos ilustrativos en lugar de “figuras” para resaltar que se componen de una o más imágenes, más su respectiva leyenda.

⁵⁵ Véase Anexo 9.3: Artículo marcado

Al igual que en el artículo impreso, se cuantificaron los conjuntos ilustrativos y los cuadros en los suplementos electrónicos. Pero por tratarse de archivos electrónicos en distintos formatos e imágenes con variadas resoluciones, no era posible tomarlos en cuenta para efectos de comparación de los espacios que ocupan. Sin embargo, se clasificaron los respectivos conjuntos ilustrativos en los suplementos electrónicos.

2.2.2.2.2 Análisis cualitativo

Se clasificaron los artículos según su especialidad disciplinaria y se determinó el enfoque metodológico aplicado en la investigación reportada. Las ilustraciones fueron clasificadas con una primera tipología y ésta se adaptó dinámicamente a partir de las ilustraciones encontradas en la muestra. La clasificación de las ilustraciones resultante permitió conocer la predominancia de ciertos tipos o formatos específicos dentro de cada tipo y detectar regularidades o anomalías en su distribución en los artículos de la muestra.

En cuanto a la relación cuantitativa texto-imagen, se determinó qué tipo de ilustración usualmente requiere de poco o de mucho texto en su leyenda y en cuanto a la relación cualitativa entre texto imagen, se exploró si existe la posibilidad de asignar una función de redundancia, dominancia o complementariedad a un determinado tipo de ilustración.

En relación a la comparación entre las versiones impresas y electrónicas en sus diferentes formatos, se puso especial atención al acceso a las ilustraciones que ofrecen.

2.2.2.2.3 Análisis estadístico multivariado

Paralelamente a las cuantificaciones y el análisis estadístico respectivo, se utilizaron técnicas de exploración de datos y técnicas estándar de agrupación y categorización como el análisis de cúmulos (*cluster analysis*) con variables seleccionadas con la finalidad de producir dendrogramas (o árboles de agrupación) y *heatmaps* para visualizar posibles patrones y detectar irregularidades o anomalías, así como descubrir relaciones entre más de dos variables que de otra forma serían muy difíciles de percibir. Sobre todo interesó saber si es posible establecer una correlación entre el tipo de ilustración y la especialidad disciplinaria o el enfoque metodológico de la investigación reportada en los artículos científicos o si es posible hacer otras inferencias a partir de las ilustraciones contenidas en textos científicos. De esta manera, la presente investigación aprovechó el potencial de las técnicas del análisis estadístico multivariado, ampliamente utilizadas por las mismas ciencias biológicas, para la visualización computacional del comportamiento de las ilustraciones en los artículos científicos.

Hay que advertir nuevamente que los resultados de la investigación empírica tienen validez únicamente para las ciencias biológicas, pero al combinarse con la información reunida en la investigación exploratoria, son posibles algunas extrapolaciones generales.

3. EL CONTEXTO: LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA FORMAL EN LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS

Cualquier imagen visual está inmersa en un proceso comunicativo ya que está hecha o empleada por alguien para transmitir un mensaje visualmente codificado a un receptor, aunque sea un destinatario hipotético. Lo que determina el empleo de ciertos códigos y su significado es el contexto específico constituido por todas las características relevantes del ambiente en que encontramos una imagen. En el caso de las ilustraciones que nos ocupan, estas características están localizadas en dos esferas: la comunicación científica formal con sus pautas que rigen al artículo científico como texto particular que alberga las ilustraciones, y la disciplina, con sus tradiciones y lógicas internas, de cuyo seno proviene la investigación a reportar.

3.1 El proceso comunicativo

“Pensado no significa siempre dicho/ dicho no significa siempre escuchado correctamente/escuchado no significa siempre correctamente entendido/ entendido no significa siempre estar de acuerdo/estar de acuerdo no significa siempre aplicado/aplicado no implica para nada sostenido permanentemente.¹

Konrad Lorenz

¹ Tomado de <http://www.zitate.de> (consultado el 25 de mayo de 2005). Cita original en alemán: “Gedacht heißt nicht immer gesagt,/ gesagt heißt nicht immer richtig gehört,/ gehört heißt nicht immer richtig verstanden,/ verstanden heißt nicht immer einverstanden,/ einverstanden heißt nicht immer angewendet,/ angewendet heißt noch lange nicht beibehalten.”

Un antecedente obligado en el estudio de la comunicación ha sido por mucho tiempo la llamada teoría de la información, formulada a finales de los 40 por el ingeniero Claude E. Shannon. En su primera versión, apareció en el *Bell System Technical Journal* de octubre de 1948², perteneciente a los Bell Telephone Laboratories, organización a la que Shannon se encontraba profesionalmente ligado. Poco después el sociólogo Warren Weaver redactó un ensayo destinado a enfatizar las bondades de esta propuesta, que fue publicado junto al texto anterior en julio de 1949.³ El trabajo de los dos científicos de campos tan disímiles, comenzó a ser llamado “modelo de Shannon y Weaver” (Figura 3.1) y trascendió ampliamente a calidad de paradigma, aunque originalmente estaba acotado a las condiciones técnicas que permiten la transmisión de mensajes en ambientes de las telecomunicaciones para luego convertirse en referente para el estudio de la comunicación humana en general.

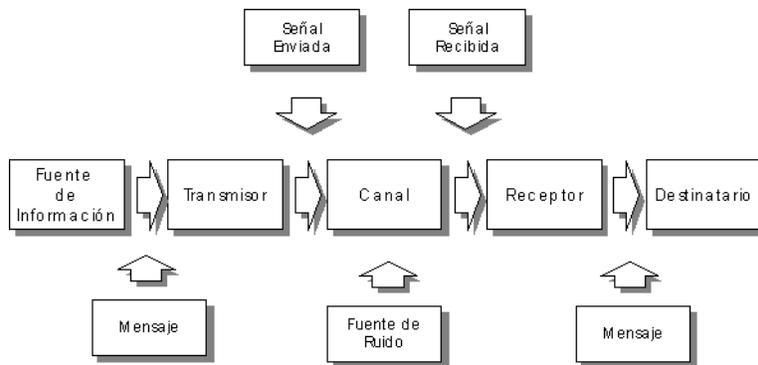


Figura 3.1: Modelo de Shannon y Weaver

²Shannon, Claude E., “A mathematical theory of communication”, en: *Bell System Technical Journal*, núm. 27, 1948, pp. :379-423, 623-656.

³ Shannon, Claude E. y Warren Weaver, *The mathematical theory of communication*, Urbana: The University of Illinois Press, 1949.

El modelo parte de una fuente de información donde el mensaje es seleccionado de un conjunto de mensajes posibles. El transmisor transforma o codifica esta información en una forma apropiada al canal que es el medio a través del cual la señal, es decir, el mensaje codificado por el transmisor, es transmitida al punto de recepción. La señal puede ser interferida por ruidos, un conjunto de distorsiones o adiciones no deseadas por la fuente de información, y puede afectar a la señal. El receptor debe decodificar la señal para hacer llegar el mensaje a su destino final. Este modelo supone que en los dos extremos del canal de comunicación - transmisor y receptor- se maneja el mismo código o conjunto de signos. Esta teoría clásica de la información que tiene su origen en los requerimientos técnicos de una empresa telefónica, tiene así un concepto de información referido a una magnitud estadística abstracta que califica el mensaje con absoluta independencia de su contexto. Con sus adaptaciones consecutivas el modelo fue un éxito incuestionable por décadas, pero posteriormente fue duramente criticado por sus limitaciones para la comunicación humana.⁴ En primer lugar, mensaje no es igual a significado y no se debe confundir el significado con el contenido como si fuera un paquete a entregar. En segundo lugar, se trata de un modelo lineal que concibe la decodificación como espejo de la codificación lo que no da lugar a marcos de referencia interpretativos del receptor. Tampoco considera la dependencia del significado del contexto situacional, social, institucional, político, cultural o histórico. Por último, es indiferente al medio cuando éste en realidad afecta tanto la forma como el contenido de un mensaje, ya que no es un ente neutral en el

⁴Véase Chandler, Daniel, *The transmission model of communication*, 1994 (consultado en <http://www.aber.ac.uk/media/Documents/short/trans.html> el 10 de diciembre de 2005).

proceso de comunicación. Stuart Hall⁵, sociólogo y fundador de los estudios culturales formuló, basado en el modelo clásico de emisor y receptor, un modelo de la producción de significados que se da en los niveles de la codificación y la decodificación de los mensajes, enfatizando la importancia de una interpretación activa dentro de códigos relevantes. La decodificación no es un resultado inevitable de la codificación. Ambos, el codificador y el decodificador, juegan un papel significativo. En el proceso de la codificación influyen prácticas institucionales, condiciones organizacionales y prácticas inherentes de la producción misma de la señal,⁶ así como la forma y el contenido de lo que está transmitido o publicado.⁷ El momento de la decodificación o el consumo por el lector/escucha/observador es más activo de lo que sugiere el término recepción, porque también construye significado.⁸

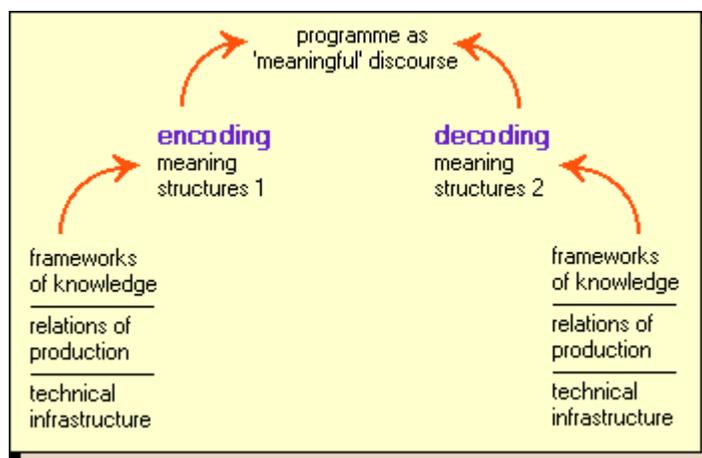


Figura 3.2: Esquema de codificación y decodificación tomado de Chandler⁹

⁵Hall, Stuart, "Encoding/decoding", en Centre for Contemporary Cultural Studies (ed.), *Culture, Media, Language: Working Papers in Cultural Studies, 1972-79*, London: Hutchinson, 1980, p. 136.

⁶ Corner, John, "Textuality, communication and power", en Davis, Howard y Paul Walton (eds.), *Language, image, media*, Oxford: Basil Blackwell, 1983, p. 266.

⁷ *Ibidem.*, p. 267

⁸ *Ibidem.*

⁹Chandler, Daniel, *Semiotics for beginners: encoding/decoding*, 2004 (consultado en <http://www.aber.ac.uk/media/Documents/S4B/sem08c.html> el 10 de diciembre de 2005).

En general, las teorías constructivistas no producen modelos formales, sino ponen énfasis en la creación de significados en un contexto socio-cultural. Así el constructivismo rompe totalmente con la supuesta transmisión directa de significados, negando la existencia de un canal directo entre el comunicador y el observador. Según el constructivismo, el proceso comunicativo se divide en dos partes: la acción de los comunicadores y la acción de los observadores, pero ambos no participan en el mismo proceso, sino actúan relacionándose con el otro desde sus propios saberes y entornos sociales.

Esto es válido tanto para la comunicación verbal como la no verbal. Sin embargo, en lo que se refiere a la comunicación visual por medio de imágenes, se proponen unas reflexiones complementarias. Por ejemplo Schuck-Wersig y Wersig hablan de imponer disciplina al acto de ver que repercute en la imagen:

“Ver siempre es indisciplinado e individualista. Comunicación exige disciplina mediante la utilización de códigos comunes. Por lo tanto la comunicación visual es siempre una acción disciplinaria sobre el ver –mediante la restricción de la autodeterminación, el estrechamiento del campo visual, la reducción de componentes análogos, etc. Una forma especial de este acto disciplinario es la imagen.”¹⁰

¹⁰Petra Schuck-Wersig, Prof. Dr. Gernot Wersig, “Das kommunikative Potenzial des Bildes”, ponencia en el Coloquio “Kommunikative Funktionen des Bildgebrauchs im Recht”, Lehrstuhl für Rechtssoziologie und Rechtsphilosophie der Ruhr-Universität, Bochum, 29-30 de junio, 2001 (consultado en <http://www.kommwiss.fu-berlin.de/427.html> 15 de abril 2004). Cita original en alemán: “Sehen ist von daher immer undiszipliniert und individualistisch. Kommunikation erfordert Disziplin durch die Verwendung gemeinsamer Codes. Visuelle Kommunikation ist daher immer Disziplinierung des Sehens – durch Einschränkung der Selbstbestimmung, Einengung des Blickfeldes, Reduktion analoger Anteile etc. Eine besondere Form der Disziplinierung ist das Bild.”

Este acto disciplinario, pero también creativo y en dado caso manipulador, se realiza en el proceso de codificación mediante el empleo determinado de los elementos gráficos básicos¹¹ y de estrategias que persiguen hacer lo más efectivo posible el mensaje, seleccionando, en su caso, encuadre, plano, perspectiva, ángulo, iluminación, contraste, etcétera o las metáforas o los símbolos pertinentes.

En el ámbito de la comunicación científica entre pares es de suponerse que los comunicadores (transmisores) y los observadores (receptores) comparten plenamente los códigos visuales empleados.

3.2 La comunicación científica

La comunicación científica es parte fundamental de la actividad científica y sin ella la ciencia no avanzaría. Los nuevos conocimientos deben ser dados a conocer para ser discutidos y, si son validados por sus pares, pasan a formar parte del cuerpo del conocimiento¹² existente sobre el tema y son disponibles para ser incorporados en investigaciones posteriores. En el proceso comunicativo entre científicos se distinguen una variedad de tipos de comunicación tanto informales como formales.¹³ Entre la comunicación científica informal contamos la comunicación epistolar tradicional, así como el correo electrónico que hoy ha sustituido casi por completo el envío de cartas de papel con timbre postal.

¹¹ Véase los grafemas en el capítulo 2, Figura 2.5.

¹² Traducción del término en inglés *body of knowledge*.

¹³ Véase Borgmann, 1989, citado en Russell, Jane M., "La comunicación científica a comienzos del siglo XXI" [2001] (consultado en <http://oei.es/salactsi/russel.pdf> el 25 de septiembre de 2005).

También fundamental para el intercambio de ideas y la discusión de resultados, a veces aún preliminares, son los congresos o seminarios, las discusiones al final de una conferencia o las estancias cortas de investigación y las visitas entre colegas. Las listas electrónicas de discusión son una nueva variante de la comunicación científica entre especialistas de algún tema o rama del conocimiento en particular. Lo que tienen en común estos tipos de intercambio comunicativo informales es que no queda registro más que para los directamente involucrados o asistentes a los eventos. Por el contrario, la comunicación científica formal queda plasmada en publicaciones y la información “suele estar disponible durante largos períodos para un amplio público”¹⁴. Se trata de la publicación de cartas o notas, ponencias en memorias de congresos, libros o capítulos de libros y las revistas científicas donde se publican reseñas, reportes de investigación, así como artículos de investigación con resultados definitivos.

3.2.1 La esencia del artículo científico

Hasta llegado el siglo XVII habían prevalecido las comunicaciones personales entre científicos o escritos reproducidos con tiraje limitado. 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. En respuesta a esta situación salieron a la luz en 1665 casi de manera simultánea las dos primeras revistas científicas: en Francia por parte de la Academia de Ciencias el *Journal des Scavans* y en Inglaterra las *Philosophical Transactions of the Royal*

¹⁴ Russell *op. cit.*

Society of London.¹⁵ El crecimiento exponencial de la actividad científica en todas las áreas del conocimiento trajo consigo una explosión en la publicación de revistas científicas¹⁶, muchas de ellas con un grado altísimo de especialización. A principios de los años 1980s se hablaba ya de la existencia de unas 70,000 revistas científicas y técnicas¹⁷, cifra ciertamente exagerada si se aplica una definición rigurosa de revista científica, pero que da cuenta de la cantidad exorbitante de información científica y técnica que se produce hoy en día.

Los artículos científicos que publican resultados en diferentes estados de avance de investigaciones originales juegan un papel central en el proceso de validación, certificación y registro del conocimiento científico.¹⁸ Estas condiciones se cumplen con la publicación en una revista primaria previa dictaminación por pares y que la revista sea accesible y consultable libremente.¹⁹ Al mismo tiempo, constituyen “un medio efectivo para asegurar la propiedad del conocimiento”²⁰, como lo recalcan los editores científicos Alan Gross y Joseph E. Harmon.

¹⁵ Véase King et al., 1981, referido en Day Day, Robert A. (1998), *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 5a. ed., 1998, p. 5.

¹⁶ Según Derek J. de Solla Price, el crecimiento de las revistas científicas se da con una regularidad asombrosa. Afirma que a partir de 1750, cuando sólo existían 10 revistas, cada 15 años se duplica esta cantidad, comparando tal fenómeno con la reproducción de los conejos. Véase Price, 1975, citado en Garfield, Eugene, “The 170 surviving journals that CC would have covered 100 years ago”, en *Essays of an information scientist*, vol. 10, Philadelphia: ISI Press, 1987, p. 164.

¹⁷ King et al., referido en Day, *op.cit.*, p. 5.

¹⁸ Véase Day, *op. cit.*, p. 8.

¹⁹ Véase *ibidem*, p. 10. En inglés se usa el término *archival journal*.

²⁰ Gross, Alan y Joseph E. Harmon, “What’s right about scientific writing”, en *The Scientist*, vol. 13, núm. 24, 6 de diciembre, 1999, p. 20. Cita original en inglés: “an effective means for securing ownership of knowledge claims”.

Pero lo que influyó esencialmente en su formato actual es el imperativo de fungir como vehículo eficiente para la comunicación del conocimiento que crea la ciencia. 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 en la segunda mitad del siglo XIX un formato adecuado al reporte de investigación surgido desde las ciencias experimentales que aplicaban rigurosamente el método científico de experimentación en laboratorio para lo que deben estar

“escritos de tal manera de que un investigador competente sea capaz, sobre la base de la información proporcionada, de: (i) reproducir el experimento y obtener los resultados descritos con la misma precisión o dentro de los límites del error experimental especificados por el autor, o (ii) repetir las observaciones, cálculos o consecuencias teóricas y evaluar sus descubrimientos.”²¹

En los años 70s, el American National Standards Institute retoma estas caracterizaciones y las amplía en su norma ANSI 3.2 Z39.16:

²¹ UNESCO, *Guide for the preparation of scientific papers for publication*, Paris: UNESCO, 29 de agosto de 1968 (SC/MD/5), p. 2. Cita original en inglés: “written in such a way that a qualified research worker is able, on the basis of the information given, (i) to reproduce the experiment and secure the results described with equal accuracy or within the limits of experimental error specified by the author, or (ii) to repeat the author’s observations, calculations or theoretical derivations and judge his findings.” A finales de los años sesenta del siglo pasado surge la preocupación por la normalización de la información científica y la UNESCO elabora una guía para la preparación de artículos científicos para publicación.

“escritos de tal manera de que un investigador competente debería, sobre la base de la información proporcionada, ser capaz: (i) reproducir el experimento y obtener los resultados descritos con la misma precisión o dentro de los límites del error experimental especificados por el autor, (ii) repetir las observaciones, cálculos, razonamiento o consecuencias teóricas, p (iii) juzgar la probable validez de las conclusiones del autor y entender las limitaciones del trabajo reportado.”²²

En 1972 se concretó la normalización al erigirse el formato IMRAD en norma por parte del American National Standards Institute (ANSI) y que, aunque con variaciones o adaptaciones según la revista de que se trate, sigue dominando la estructura del artículo científico.²³ Un artículo estándar cuenta así con los componentes siguientes:

TITLE

AUTHOR(S)

ABSTRACT

INTRODUCTION

MATERIALS & METHODS

RESULTS

AND

DISCUSSION

REFERENCES

El título y el resumen son de suma importancia porque son las partes esenciales para decidir si se va a seguir con la lectura del artículo en cuestión. El título debe definir, con el menor número de palabras, el contenido de un artículo, mientras el

²² American National Standards Institute, *ANSI 3.2 Z39.16*, Washington: ANSI, 1972 y 1979. Cita original en inglés: “written in such a way that a qualified research worker should, on the basis of the information given, be able: 1) to reproduce the experiment and secure the results described with equal accuracy, or within the limits of experimental error specified by the author; 2) to repeat the author’s observations, calculations, reasoning, or theoretical derivations; or 3) to judge the probable validity of the author’s conclusions and understand the limitations of the work reported.”

resumen o *abstract* constituye una versión abreviada del artículo que suele condensar cada una de sus secciones principales.²⁴ La introducción, primera sección de un artículo, tiene como finalidad la de indicar claramente el problema investigado y dar al lector los antecedentes del caso. La sección de materiales y métodos²⁵ explica cómo se estudia el asunto o problema. Debe describir los experimentos con suficiente detalle para que cualquier especialista pueda repetirlos y obtener los mismos resultados o resultados equivalentes. La sección de resultados explica cuáles fueron los descubrimientos del estudio y en la sección de discusión se explica el significado que tienen éstos, mientras los puntos importantes se expresan en forma de conclusiones.

Para lograr la requerida efectividad 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.²⁶ Y para tal fin

²³Véase Day, *op.cit.*, p. 11.

²⁴Es importante distinguir el resumen de un sumario que es normalmente una sinopsis de las conclusiones.

²⁵Ya en la mayoría de los casos se limita a métodos al eliminar los materiales como parte ya superflua.

²⁶Véase 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, *op. cit.*, p. 2. Es de subrayarse que el documento de la UNESCO es el único que incluye la noción de honestidad. No está por demás mencionar aquí que estas normas fueron impuestas a los científicos y a veces los que escriben sobre como escribir en ciencia son los que más defienden estas normas y vigilan su cumplimiento exigido por los editores de las revistas y secundados por los evaluadores de la ciencia.

“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”.²⁷

Montgomery ubica “el inicio verdadero de la escritura científica [...] como *estilo* consciente”²⁸ en el siglo XVII, siendo Francis Bacon el personaje con más influencia. Persistieron, sin embargo, por algún tiempo una pluralidad de discursos relevantes con que los autores buscaban atraer la atención de sus lectores y la utilización de un lenguaje rico en metáforas. Pero el camino se había emprendido de manera inexorable hacia el artículo científico moderno que “es ahora muy cercano a un mecanismo, una tecnología, como piezas que encajan en su lugar.”²⁹ En el mismo sentido, Day³⁰ insiste 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:

“En la escritura científica casi no es necesaria la ornamentación. Los adornos floridos –las metáforas, los símiles, las expresiones idiomáticas- es casi seguro que causen confusión y no deberían usarse con prolijidad en los artículos científicos. La ciencia es sencillamente demasiado importante como para ser comunicada de otra manera de que no sea con palabras de significado certero.”³¹

²⁷Gross y Harmon, *op. cit.*, p. 20. Cita original en inglés: : “The modern scientific article [...] has evolved a specialized language and prose style adapted for efficient communication to other professionals engaged in similar research.”

²⁸Montgomery, S., *The scientific voice*, New York: The Guilford Press, 1996.

²⁹ *Ibidem*. Cita original en inglés: “It is now much closer to mechanism, a technology, tumblers falling into place.”

³⁰Day, *op. cit.*, p. 2.

³¹ *Ibidem*. Cita original en inglés: “In scientific writing, there is little need for ornamentation. The flowery embellishments –the metaphors, the similes, the idiomatic expressions- are very likely to cause confusion and should seldom be used in writing research papers. Science is simply too important to be communicated in anything other than words of certain meaning”.

Es interesante que en la literatura que se ocupa del deber ser del artículo científico proliferan los calificativos y las metáforas. Katz, multicitado autor acerca de cómo escribir textos científicos, ilustra la posición dominante acerca del artículo científico en la frase:

“El propósito principal de un artículo científico no es hablar al corazón sino al cerebro.”³²

Y Molestina³³ ofrece una lista que recuerda fuertemente a un decálogo que enmarca a la literatura científica en pautas de mandamientos casi religiosas:

1. Presenta **hechos**.
2. Es **exacta y verdadera**.
3. Es **desinteresada**.
4. Es **sistemática**.
5. **No** es **emotiva**.
6. **Excluye opiniones** no fundadas.
7. **Es sincera**.
8. **No** es **argumentativa** (deja que los hechos hablen por sí solos).
9. **No** es **directamente persuasiva**.
10. **No exagera**.”

Otra particularidad es que, a pesar de que la actividad científica es colectiva³⁴ 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

³² 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. Cita original en inglés: “The primary purpose of a scientific paper is not to speak to the heart but to the brain.”

³³ Molestina, *op. cit.*, pp. 32-33. El subrayado es mío.

³⁴ 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.

mayor objetividad. Últimamente, algunos autores han roto con estas convenciones, pero aún son pocos. Predomina la opinión 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.”³⁵

En la misma tónica de la devaluación de los sentimientos y de las emociones frente 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, ya que éstos juegan un papel fundamental en la construcción del conocimiento científico. Aunque el desdén a fotografías y gráficas llamativas como indicadores de una menor calidad académica de una revista, como lo sostenían todavía en los años setenta Drott y Griffiths³⁶, haya perdido validez general, sigue vigente el rechazo al empleo de elementos decorativos y el uso del color cuando no es estrictamente necesario, argumentando que pueden causar confusión o

³⁵ Gross y Harmon, *op.cit.*, p. 20. Cita original en inglés: “The impersonal style of these articles is designed to focus the reader’s mind on the things of the laboratory and the natural world, rather than to draw attention to the text itself or its author.”

³⁶Drott and Griffiths, 1975, citados en Meadows Arthur J., “The evolution of graphics in scientific articles”, *Publishing Research Quarterly*, vol. 7, núm 1, 1991.

distraer de lo realmente importante, independiente de las consideraciones del costo.

Los cambios tecnológicos, no obstante, están produciendo impactos en la comunicación científica. Como Robert A. Day argumenta en el prefacio a la cuarta edición del libro sobre cómo escribir y publicar un artículo científico que apareció en 1994³⁷, era necesario actualizar la edición de 1988, ya que la ciencia y la manera de comunicarla habían sufrido cambios realmente revolucionarios en los años antecedentes a la nueva edición. Pero frente a la aparición del World Wide Web, de las revistas electrónicas, de los *software* para la producción de gráficas y otro tipo de ilustraciones y, en general, del uso predominante de las computadoras en el ambiente gráfico y del proceso editorial conocido con el término de *desktop publishing* también³⁸, Day expresa su tranquilidad ya que considera 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”³⁹.

Sin embargo, la proliferación de publicaciones electrónicas⁴⁰, las posibilidades de

³⁷ Véase Day (1994), *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 4a. ed. 1994.

³⁸ Véase Day (1998), *op. cit.*, p. xi.

³⁹ *Ibidem*, p. xii. Cita original en inglés: “Fortunately, the *principles* of scientific communication have not significantly changed in spite of the technological changes that keep coming with dizzying speed.”

⁴⁰ Es necesario aclarar que solamente algunos títulos de las revistas electrónicas se publican en formato electrónico únicamente y en la mayoría de los casos corresponden a réplicas de su versión impresa. Hace pocos años alrededor del 80% de las publicaciones periódicas arbitradas ya estaban disponibles en alguna forma digital. Véase Boyce, Peter ; King, Donald W.; Montgomery, Carol y Carol Tenopir, “How electronic journals are changing patterns of use”, *The Serial Librarian*, vol. 46, núm. 1-2, 2004, pp. 121-141.

la “autopublicación de un informe de investigación en la red por parte de los científicos”⁴¹ y el fenómeno de los *preprints*, han desatado discusiones acerca de la función de las revistas científicas en calidad de *archival journal*, dado que en el ambiente electrónico, la permanencia de la información digital está más vulnerable⁴² y también se está señalando que la distinción entre comunicaciones formales e informales se está desdibujando.⁴³ Al mismo tiempo aumentan las críticas al formato tan rígido y la forma de reportar investigaciones que no refleja el proceso de investigación mismo. Grinnel lo sintetiza así:

“El descubrimiento comienza como protociencia. Para convertirse en ciencia, el investigador debe fijar su atención en la credibilidad, convenciendo a sus pares de que los nuevos hallazgos sean correctos. El investigador presenta su trabajo en publicaciones de investigación altamente estilizadas. En estos relatos científicos breves, que emplean el método científico lineal como argumento, la ambigüedad y el error desaparecen. La publicación se convierte en el descubrimiento. Dado que el modelo lineal es la manera principal con la cual los científicos se comunican, el público ha llegado a creer que la ciencia funciona de modo lineal, un malentendido acerca de la naturaleza de la ciencia y fuente de desencanto en caso de que los resultados de la investigación no concuerdan con las expectativas. Se sorprenden de la frecuencia con la que los experimentos no funcionan como se planea.”⁴⁴

⁴¹ *Ibidem*.

⁴² Véase Parthey, Heinrich, “Publikation und Bibliothek in der Wissenschaft”, en *Wissenschaft und digitale Bibliothek: Wissenschaftsforschung, Jahrbuch 1998*, Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung, 2000, p. 86.

⁴³ Russell, op. cit.

⁴⁴ Grinnell, Frederick, “The practice of science at the edge of knowledge”, en *The chronicle of higher education*, marzo 24, 2000 (consultado en <http://www.moldreporter.org/vol1no2/pracScience> 15 de noviembre de 2006). Cita original en inglés: “Discovery begins as protoscience. For it to become science, the researcher must focus next on credibility -- convincing his or her peers that the new findings are correct. The researcher presents the work in highly stylized research publications. In those scientific short stories, which use the linear scientific method as plot, ambiguity and error disappear. The publication becomes the discovery. Because the linear model is the primary way in which scientists communicate, the public has come to believe that science works in a linear fashion, a misunderstanding of the nature of science and a source of disappointment when the results of research do not meet expectations. When high-school science teachers spend a summer working in my laboratory, they are amazed at how frequently experiments fail to work out as planned.”

Pero también los cambios se generan en los campos mismos de donde procede la información que se publica en los artículos. Como precisa Jane M. Russell

“Quizá el resultado más importante de la incursión de la tecnología de la información en el trabajo científico no ha sido la velocidad, la flexibilidad y el alcance de la comunicación mediatizada por medio de los ordenadores, sino las consecuencias que estos atributos han tenido para la práctica de la ciencia.”⁴⁵

Comparto con Jäger⁴⁶ que el cambio que experimenta un texto que sirve a la comunicación científica, se basa en una motivación interna y corresponde a los requerimientos funcionales de la ciencia misma. Si las prácticas científicas pueden experimentar cambios, por ejemplo, al incorporar métodos visuales apoyados en el supercómputo, también el texto que reporta las investigaciones está propenso a los cambios. Sin embargo, el lema *publicar o perecer* sigue vigente. Cuando se habla de los propósitos de la ciencia no figura en primer lugar la generación de nuevos conocimientos, sino se llega a colocar en el centro a la publicación misma.⁴⁷ Hay que publicar en el momento correcto, esto es, sobre todo, antes que otros lo hagan, pero también hay que publicar en el lugar correcto, ya que no todas las revistas tienen la misma importancia. Un estudio de Eugene Garfield ha arrojado que el número de revistas esenciales es limitado y que “sólo una cantidad sorprendentemente pequeña de revistas generan la mayoría de lo que es citado y

⁴⁵ Russell, *op. cit.*

⁴⁶ Jäger, G., citado en Parthey, *op. cit.*, 2000, p. 67.

⁴⁷ Véase Day, *op. cit.*, p. ix.

publicado”⁴⁸. Publicar en estas revistas de prestigio internacional y de alto impacto es, por lo tanto, la aspiración y el camino de los científicos, sobre todo en las disciplinas exactas y naturales, en busca de reconocimiento, recompensa y fondos para poder seguir investigando.

3.2.2 Los artículos de investigación en *Science* y *Nature* y sus políticas editoriales

Science y *Nature* son dos de las revistas más prestigiadas internacionalmente. En calidad de revistas generalistas figuran continuamente en los dos primeros lugares en el área clasificado como ciencias multidisciplinarias⁴⁹ y entre sus artículos se encuentran los más citados a nivel internacional. Ambas revistas se publican semanalmente para un público lector amplio que va del hiperespecialista al científico común interesado en las novedades de la ciencia.⁵⁰ Las revistas se presenta a sí mismas con las siguientes palabras:

“*Science* es una revista semanal arbitrada que publica investigaciones significativas y originales, además de reseñas y análisis de investigaciones en curso y política científica. [...] Recibimos contribuciones de todos los campos de las ciencias y de cualquier fuente. [...] La competencia por el espacio en *Science* es feroz y muchos artículos son regresados sin haber pasado por un arbitraje

⁴⁸ Véase Garfield, Eugene, “The significant scientific literature appears in a small core of journals”, en *The Scientist*, vol. 10, núm. 17, 2 de septiembre, 1996, p. 13. Cita original en inglés: “a surprisingly small number of journals generate the majority of both what is cited and what is published”.

⁴⁹ Véase Institute for Scientific Information (ISI), *Journal Citation Reports* y *Journal Performance Indicators* en <http://scientific.thompson.com/products/jrc> .

⁵⁰ Véase una caracterización más amplia de las revistas en Russell, Jane M.; J. Antonio Del Río y Héctor D. Cortés, “Highly visible science: a look at three decades of research from Argentina, Brazil, Mexico, and Spain”, *Interciencia*, vol. 32, núm. 9, 2007, pp. 629-634,

profundo. Se da la prioridad **a artículos que revelan conceptos novedosos de interés amplio.**⁵¹

“Son once las publicaciones en la familia de *Nature* de revistas internacionales. [...] La meta más importante de estas revistas es que el material que publican sea de **calidad excepcionalmente alta**. Todas logran esta finalidad mediante estándares rigurosos de dictaminación por pares, la independencia editorial y una pronta publicación. [...] *Nature* ... aparece semanalmente y publica artículos de **cualquier campo de las ciencias que tengan un gran impacto potencial**. La relevancia de los artículos de *Nature* frecuentemente rebasan con muchos los confines de una disciplina específica involucrada.”⁵²

Son varios los tipos de contribuciones que se publican en las revistas citadas; empero los artículos de investigación son la columna vertebral de la comunicación científica por su importancia en cuanto aportaciones al conocimiento y su papel en la evaluación de la ciencia y de la productividad académica.

En cuanto a su estructura, los formatos en que se presentan los artículos de investigación en *Science* and *Nature* difieren del formato IMRAD. Estas revistas llegan a un público muy amplio y, por ser de alto impacto, muchos autores anhelan publicar en ellas. Existe por lo tanto una gran presión sobre el espacio y los textos

⁵¹ Science, “2003 information for contributors” en *Science*, vol. 299, 3 de enero, 2003, p. 124. Cita original en inglés: “*Science* is a weekly, peer-reviewed journal that publishes significant and original research, plus reviews and analyses of current research and science policy. [...] We welcome submissions from all fields of science and from any source. [...] Competition for space in *Science* is keen, and many papers are returned without in-depth review. Priority is given to **papers that reveal novel concepts of broad interest**.” Las negritas son mías.

⁵² Nature, “Guide to Nature and its related journals” (consultado en <http://www.nature.com/nature/author/natureguide.htm> el 30 de noviembre de 2001). Cita original en inglés: “There are eleven publications in the Nature family of international journals [...] The most important goal of these journals is that the material they publish is of **exceptionally high quality**. All of them achieve these ends by rigorous standards of peer-review, editorial independence, and rapid publication. [...] *Nature* ... appears weekly and publishes **papers of any area of science with great potential impact**. The importance of *Nature* papers often extends well beyond the confines of the specific discipline concerned.” Las negritas son mías.

usualmente son altamente comprimidos. En ambas revistas no existen apartados fijos con excepción del resumen y la lista de referencias, pero la lógica de IMRAD subyace en su redacción menos en lo que se refiere a la sección de métodos que en *Nature* se encuentra al final del artículo, mientras *Science* ya no la publica sino en su versión electrónica.

La revista *Science* recomienda que un artículo de investigación contengan aproximadamente 4500 palabras o lo correspondiente a alrededor de cinco páginas publicadas. Se espera que este tipo de artículo reporte avances mayores de las investigaciones. En cuanto a su estructura deberá contar con un *abstract*, una introducción, hasta seis figuras o cuadros, secciones con subtítulos breves y hasta 40 referencias. En lo que se refiere a materiales y métodos, esta sección se debe pasar a la información complementaria que se publica únicamente en la versión electrónica y donde también se publica toda información necesaria para apoyar a las conclusiones expuestas en el artículo. Se avisa a los autores que se cobrará la cantidad de 650 dólares americanos por la inserción de la primera imagen a color y 450 dólares por las subsecuentes. Igualmente hay un cargo para las ilustraciones a color en los *reprints*.

Por el otro lado, la revista *Nature* recomienda que un artículo de investigación no exceda de cinco páginas publicadas y que no tenga más de 50 referencias. De este tipo de artículo se espera que sea un reporte original cuyas conclusiones representan un avance sustancial en el entendimiento de un problema importante y que tenga implicaciones inmediatas y de largo alcance. Asimismo, se pide a los

autores redactar el resumen de tal manera que también sea entendible para lectores de otras disciplinas o especialidades que la reportada. En cuanto a las ilustraciones, se recomienda que sean lo más pequeñas posibles y que un artículo contenga solamente cinco o seis figuras.

En el caso de ambas revistas, las indicaciones acerca de las ilustraciones se limitan a recomendaciones formales como cantidades máximas, formatos gráficos aceptables, leyendas y utilización de la simbología. A continuación un cuadro comparativo (Cuadro 3.1) de las indicaciones generales que proporcionan las dos revistas a sus colaboradores:

Cuadro 3.1: Indicaciones cuantitativas para artículos de investigación en *Nature* y *Science*⁵³

	NATURE 1)	SCIENCE 2)
Páginas	Normal hasta 5	5 publicadas
Figuras	5 a 6 figuras tan pequeñas como posible	Hasta 6 figuras o cuadros
Total palabras	3,000	Aprox. 4,500
Abstract	150 palabras	---
Methods section	Breve (max. 800 palabras)	Incluir en SOM
Leyendas	Hasta 100 palabras cada una	---
Referencias	No más de 50	Aprox. 40

La semejanza de la política editorial para los artículos de investigación y que ambas revistas los distinguen claramente de los que llaman “reports” o “letters”

⁵³ Lineamientos válidos para 2003: 1) Nature, “Nature guide to authors. Publication policies, author guidelines and information” en *Nature*, vol. 421, 30 de enero, 2003, p. 556. 2) Science, “2003 information for contributors”, *op. cit.*, pp. 124-125.

respectivamente, permite tomarlos como unidades de análisis de un presente dominante aún.

3.3 El contexto disciplinario: las ciencias biológicas

La biología⁵⁴ es el estudio de todo lo referente al mundo vivo. Aunque la biología como tal es una disciplina bien estructurada y constituida apenas a partir del siglo XIX, emergió desde las tradiciones de la medicina y de la historia natural con sus antecedentes del estudio de la naturaleza que remontan a la Grecia Clásica o quizás antes.⁵⁵ En la antigüedad clásica, la profesión de biólogo la ejercían los filósofos y, por lo tanto, sus métodos eran fundamentalmente la observación y el razonamiento especulativo. La descripción de los animales que hace Aristóteles en "Acerca de las partes de los animales" tienen un grado de minuciosidad que podría servir como un texto contemporáneo.

Durante el largo camino de la Edad Media se avanzó en la recopilación de especímenes y en la descripción de los organismos. Es hasta la época de Linneo y Buffon que la reflexión teórica hace su entrada en la biología. Al proponer grandes sistemas de organización jerárquica de los seres vivos, dichos pensadores ya plasman en sus propuestas una concepción del mundo, un reflejo de la filosofía y de la ideología dominantes en sus países y épocas. Sin embargo, la tradición

⁵⁴ El término "biología" fue acuñado por Lamarck. Su origen también fue adjudicado a Burdoch y Treviranus, véase Smith, C.U.M., *El problema de la vida. Ensayo sobre los orígenes del pensamiento biológico*, Madrid: Alianza Universidad, 1977, p. 31.

⁵⁵ Para una historia de la biología y el desarrollo de su pensamiento véase *ibidem* y para el desarrollo de sus especialidades disciplinarias la *Wikipedia* en español e inglés en <http://es.wikipedia.org> y <http://en.wikipedia.org>.

naturalista de la biología -la búsqueda y descripción de nuevos objetos de estudio- ha sido una constante a lo largo de toda su historia. El siglo XX trajo dos revoluciones en la investigación biológica. La primera conjuntó la química y la física con la biología, procreando la nueva disciplina de la biología molecular. La segunda revolución integró a las matemáticas.

Como se puede ver, la biología abarca un amplio espectro de campos de estudio que, a menudo, se tratan como disciplinas independientes. Para una más fácil comprensión de las diferentes disciplinas, subdisciplinas o especialidades comprendidas entre las ciencias biológicas, a veces también llamadas ciencias de la vida, no se presenta aquí su desarrollo en orden cronológico, sino de acuerdo con la jerarquía de complejidad de sus componentes. El nivel más bajo corresponde al estudio de las biomoléculas. En este nivel, no hay una distinción clara entre lo que es la bioquímica y la biología molecular o, mejor dicho, existe un traslape entre sus campos de interés. A este nivel, también intervienen la genética y la biofísica. Los objetos de estudio de la primera, los genes, son segmentos de DNA, que es objeto de estudio de la biología molecular. Su dinámica implica reacciones bioquímicas muy intrincadas cuyos aspectos energéticos y termodinámicos caen en el dominio de la biofísica. Todavía al nivel molecular, existen dos disciplinas emergentes: la genómica y la proteómica que se encargan, respectivamente, del genoma completo de las diferentes especies y su expresión en el conjunto completo de proteínas. Estas disciplinas se apoyan cada vez más

en herramientas computacionales llamadas bioinformática, pero también tienen derivaciones aplicadas en la biotecnología y la ingeniería genética, por ejemplo.

A otro nivel, se tiene la citología o biología celular. Es la disciplina que estudia la estructura y la función de la célula y sus organelos. También tiene un traslape grande con la microbiología que se encarga de los organismos microscópicos como bacterias, levaduras, protistas u hongos.

Conjuntos o colonias de microorganismos con vida relativamente independiente, son todavía estudiados por la microbiología, pero cuando estas asociaciones ya se especializan en tareas distintas o para la conformación de los órganos de un individuo, ya tenemos a la histología. La histología es el puente entre la citología y la anatomía. En la práctica, el distinguir e identificar tejidos diferentes ya conlleva su función diferente, por lo que la histología también se relaciona con la fisiología.

En un organismo ya tiene sentido hablar de la morfología y de la morfogénesis, del comportamiento o etiología y de la biomecánica. Dependiendo del tipo de organismo o conglomerados de organismos, la biología ya tiene una enorme cantidad de subdivisiones. La división clásica entre botánica y zoología se divide a su vez en incontables disciplinas que también se siguen dividiendo.

El siguiente nivel en la escala de organización jerárquica corresponde a un conglomerado de individuos llamado población. La rama de la biología que estudia

las interacciones de las poblaciones con su medio, con otras y la dinámica poblacional interna, se llama ecología.

Aquí terminaría la organización jerárquica de lo viviente en nuestro planeta. Sin embargo, también hay que tomar en cuenta que existe una exobiología o astrobiología, el estudio de la posibilidad de encontrar vida fuera de nuestro planeta Tierra.

También hay disciplinas de la biología que no se restringen a un nivel de la organización jerárquica de la materia viva como lo son la taxonomía y, sobretodo, la biología de la evolución y de alguna manera también, la paleontología. A continuación una presentación⁵⁶ muy esquemática que resume lo anteriormente expuesto:

ESCALA	ESPECIALIDADES
Molecular	Biología molecular, bioquímica, biofísica, genética, genómica
Celular	Biología celular, microbiología, virología
Pluricelular y Organismo	Anatomía, fisiología, histología, botánica, zoología, biología del desarrollo, neurociencias, inmunología
Población	Ecología, antropología (biología humana)
General	Taxonomía, paleontología, biología evolutiva

⁵⁶ Véase también el Anexo 9.4 con la lista y sus abreviaciones para clasificar los artículos de la muestra

¿Pero cómo trabaja la biología? En general se pueden distinguir cuatro enfoques metodológicos: el de carácter naturalista, el experimental, el teórico y recientemente, también el bioinformático:

1. La biología descriptiva, a veces también llamada biología **naturalista**: Con mucho, ésta ha sido la actividad dominante a lo largo de la historia de la biología. Desde la observación empírica en la antigüedad clásica, pasando por los naturalistas de la época romántica hasta nuestros días, los biólogos de campo recolectan, describen y almacenan grandes cantidades de datos de todo tipo. Aunque pudiera parecer un arte antiguo, la verdad es que todavía se descubren a diario muchas especies nuevas, sobre todo de insectos y bacterias.
2. La biología **experimental**: Posiblemente fue a partir de Antoine-Laurent de Lavoisier en el siglo XVIII que la biología encuentra un nuevo enfoque metodológico. A partir de ese momento –que se puede enmarcar en el racionalismo- y singularmente con el empuje de la filosofía positivista de Auguste Comte a mediados del XIX, el enfoque experimental ha sido particularmente fructífero y continúa hasta nuestros días como una de sus fortalezas.
3. La biología **teórica**: Aunque en muchos círculos se debate aún si es posible hablar de una biología teórica, es innegable que ya se puede afirmar que el pensamiento teórico en la biología se ha ganado un lugar legítimo. Un notable precursor fue D'Arcy Wentworth Thompson que a lo largo de su notable

carrera propuso por primera vez una estrategia sistemática de aplicar el pensamiento teórico de la física y la matemática en la biología. Hoy en día se piensa que la biología teórica no será la aplicación acrítica de los métodos físicos, pero al ser una actividad intelectual humana, deberá poseer su teoría, aunque la mayor parte esté por descubrirse.

4. La **bioinformática**. El advenimiento de la computadora digital no podía dejar de lado a la biología. La posibilidad de manejar grandes cantidades de datos, de representarlos visualmente para su análisis, han hecho de este enfoque metodológico una herramienta poderosa de la biología contemporánea.

En cuanto a las imágenes se debe remarcar que su importancia ha sido grande en la biología desde sus orígenes hasta la actualidad. No solamente se trata de la representación de los seres vivos a diferentes escalas, sino también la representación esquemática de estructuras y relaciones. Las representaciones visuales en las ciencias biológicas están ligadas estrechamente a las posibilidades tecnológicas. El invento de la microscopía permitió el adentramiento en mundos antes inaccesibles y los aparatos de visualización científica siguen revolucionando sus potenciales y alcances. La introducción de la fotografía cambió drásticamente la tradición de la ilustración científica artística sustituyendo los dibujos y grabados hermosos por imágenes funcionales y técnicas en la mayoría de los casos. Después de la conjunción de los aparatos que potencian la visión humana con las técnicas fotográficas, ahora la computación y el procesamiento digital de las imágenes abre nuevos horizontes.

En lo que se refiere a la comunicación mediante la presentación de ilustraciones, varios estudios, entre el que destaca el de Michael Lynch⁵⁷ hacen notar que frecuentemente las ilustraciones se presentan en forma de pares con diferentes niveles de abstracción, sobre todo una fotografía junto con un diagrama que resalta aspectos significativos del objeto representado en ambos casos.

Pero también hay que reflexionar acerca del impacto en general de las imágenes contemporáneas producidas por las ciencias biológicas. La representación del DNA en forma de doble hélice constituyó un verdadero hito. Y tampoco se puede dudar que las imágenes coloridas de estructuras moleculares y las bellas fotomicrografías que lucen frecuentemente en las portadas de las revistas científicas, no tengan un impacto también sobre la aceptación y valoración popular de estas ciencias –aparte de determinar en gran medida lo que entendemos por el ser humano, la naturaleza y la vida- parecen ejercer influencia también sobre nuestra imagen de lo que es la ciencia, un papel que anteriormente ocupaba sin competencia la física.

⁵⁷ Véase Lynch, Michael, "The externalized retina: Selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences", en Lynch, Michael y Steve Woolgar (eds.), *Representation in scientific practice*, Cambridge: MIT, 1990, pp. 157-162.

4. LA PRODUCCIÓN Y LA RECEPCION DE LAS ILUSTRACIONES CIENTIFICAS

Aparte del contexto en que se encuentra, una imagen no se puede analizar sin tomar en consideración cuestiones de su producción y su de recepción. Cada imagen tiene su historia de producción que le impregna significado al utilizar ciertas técnicas o formas de representación. La imagen tampoco existe sin su receptor quien cierra y, en dado caso, retroalimenta el propio proceso comunicativo. A continuación, se presentan tanto los aspectos técnicos y tecnológicos en el desarrollo de las representaciones visuales que llegan a ser ilustraciones, así como las cuestiones que giran alrededor de la lectura del artículo científico que contiene ilustraciones y de las ilustraciones en sí.

4.1 De las ilustraciones científicas dibujadas a las visualizaciones computacionales

Como medios de comunicación las imágenes son más viejas que el lenguaje. Sin embargo, las imágenes cargan con desventajas técnicas frente a la escritura, desventajas que según Ivins¹ contribuyeron a su marginalización o racionalización, porque era más laborioso producirlas y su copiado era difícil. De esta situación surge el determinismo tecnológico en la discusión acerca de las ilustraciones y cuyas consecuencias solamente se flexibilizarían hasta la llegada de la era digital.

¹ Véase Ivins jr., William M., *Prints and visual communication*, Cambridge, Mass/London: MIT, 8a. ed., 1992, p. 19.

Al igual que las técnicas de producción, de reproducción y de publicación cambian, también cambian las formas de representación por épocas y sus cosmovisiones dominantes y ligadas a la acumulación de nuevos conocimientos. Un ejemplo muy ilustrativo es el de la cosmología:

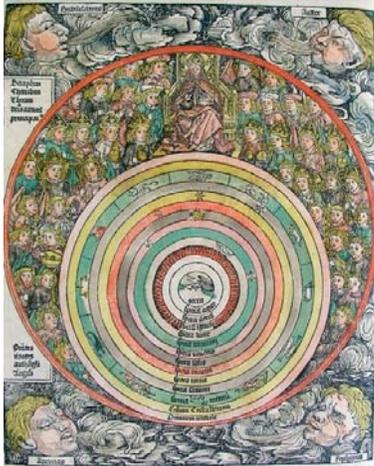


Fig. 4.1: Representación medieval con la tierra en el centro del universo



Fig. 4.2: Sistema solar copernicano

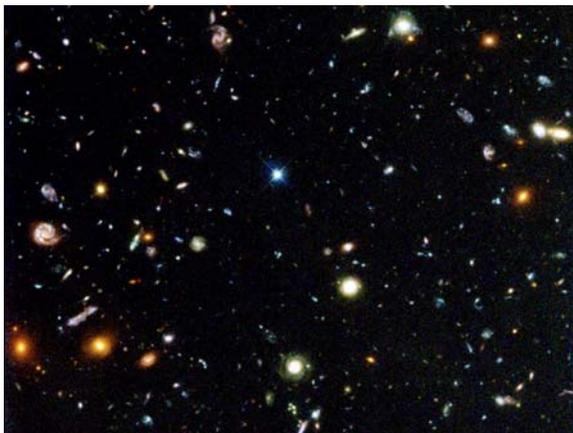


Fig. 4.3: Imagen del telescopio espacial Hubble

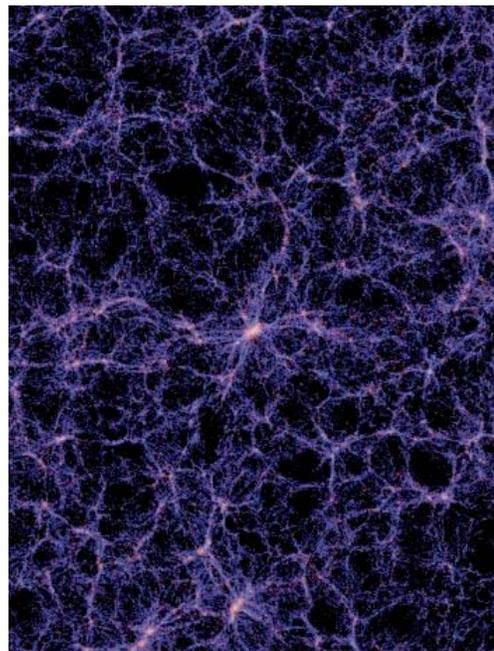


Fig. 4.4: Distribución calculada de materia visible en el universo

David Topper² hace un pequeño recorrido por la historia de la ilustración científica.

La prehistoria la sitúa en la antigüedad, donde los egipcios ilustraban rollos de papiro. Los griegos del siglo V ac también ilustraban obras, como por ejemplo la de Homero, y se supone que también lo hacían con textos científicos. Se cree que obras como *De materia medica* de Dioscórides, con sus dibujos botánicos, fue ilustrada por el mismo autor. Los manuscritos iluminados seguían siendo los mayores artefactos de todos los textos ilustrados (y no solamente científicos) hasta la invención de la imprenta en el renacimiento. Los impresos constituían un giro en la historia de la imagen. Hacían posible la comunicación a un público amplio de información visual idéntica. Pero excepto en algunos libros ilustrados famosos (como la Enciclopedia), las imágenes fueron confinadas al frontispicio, ya que el proceso de grabado era un proceso caro que se tenía que llevar a cabo en tres pasos: el original dibujado por el artista, la elaboración de la placa por el grabador y la impresión misma. El proceso fue simplificado por la introducción de la litografía en la última década de siglo XVIII, eliminando también el personaje intermedio del proceso: el grabador. Sin embargo, esta técnica de impresión no fue usada ampliamente para propósitos de la ilustración científica hasta los 1820s. Al mismo tiempo revivió el grabado en madera ya que no requirió de papel especial y ambos, la ilustración y el texto, podían aparecer en la misma página. Eventualmente se puede afirmar que la fotografía eclipsó la mayoría de las otras

² Topper, David, "Towards an epistemology of scientific illustration" en Baigrie, Brian S. (ed), *Picturing Knowledge: Historical and philosophical problems concerning the use of art in science*, Toronto: University of Toronto Press, 1996, pp. 220-221.

formas de ilustración, aunque al principio también la fotografía tenía que trasladarse al grabado.³

Ford⁴ sitúa la aparición de la ilustración científica moderna a mediados del siglo XVIII, cuando aparecieron representaciones que persiguen una representación precisa, fiel y objetiva sin la mayor utilización de elementos decorativos. Así también

“la gráfica moderna no fue inventada sino hasta finales del siglo XVIII, una centena después de que hizo su aparición la revista científica. En ese momento, fue usada intensamente por primera vez por el físico alemán Johann Heinrich Lambert y por el economista inglés William Playfair.”⁵

Bredekamp et al.⁶ destacan que la utilización de la fotografía en la producción de imágenes científicas tuvo fuertes impactos en la ciencia misma, en la imagen de sí misma, y en el trato que se le da a las imágenes visuales. La fotografía surgió como producto de una necesidad histórica de representación objetiva al igual que reforzó la fe en la objetividad de las imágenes producidas por aparatos.

³ Para ver el desarrollo de los aspectos relevantes para la producción y publicación de imágenes científicas, véase el Anexo 9.5. La adjudicación de un invento a una sola persona a veces no corresponde a la verdad y ni la fechación es cosa sencilla, ya que corre tiempo entre el invento y la aplicación reconocida. La historia se escribe, como siempre, por los triunfadores.

⁴ Véase Ford, Brian J., “Images imperfect, the legacy of scientific illustration”, en *1996 Yearbook of Science and the Future*, Chicago: Encyclopedia Britannica, 1996, p. 134.

⁵ Harmon, Joseph E. y Alan Gross, “The scientific article. From the Republic of Letters to the World Wide Web”, 2002 (consultado en <http://www.lib.uchicago.edu/e/spcl/webex/sciart/> el 30 de marzo de 2005). Cita original en inglés: “the modern graph was not invented until the late 18th century, a hundred years after the scientific journal made its debut. At that time, it was used extensively for the first time by the German physicist Johann Heinrich Lambert and the English economist William Playfair.”

⁶ Véase Bredekamp, Horst; Fischel, Angela; Birgit, Schneider y Gabriel Werner, “Bildwelten des Wissens”, en Bredekamp, Horst y Gabriele Werner (eds.), *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik*, vol. 1, *Bilder in Prozessen*, Berlin: Akademie Verlag, 2004, pp. 12-15 (consultado en <http://www2.hu-berlin.de/kulturtechnik/img/dtb/bildwelten.pdf> el 25 de enero de 2006)

“La producción físico-química de la imagen en el siglo XIX era la base para que imágenes producidas por aparatos como las de la microscopía fueran utilizadas como objetos que proveen de evidencia tanto en el diagnóstico médico como en la argumentación científica.”⁷

4.1.1 La irrupción de la era digital

Hoy se cuenta con nuevas posibilidades tecnológicas y herramientas computacionales que aumentan enormemente las posibilidades del uso y de la producción de imágenes dada la facilidad de digitalización, edición y manipulación de las mismas, 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 hace innecesario dibujar los gráficos como antes, y los programas de computadora que ofrecen herramientas cada vez más sofisticadas con resultados visuales espectaculares. (Figura 4.5)

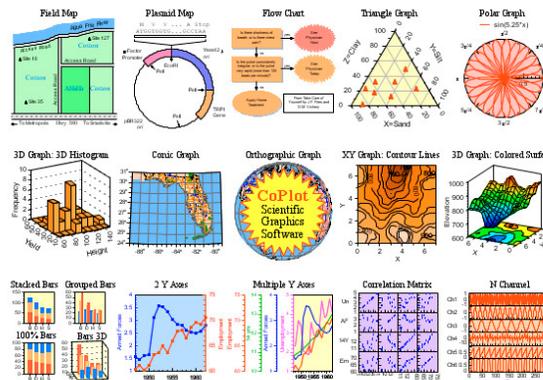


Fig. 4.5: Gráficas que se pueden elaborar con el *software* CoPlot

⁷. *Ibidem*, p. 12. Cita original en alemán: “Die physiko-chemische Bilderzeugung im 19. Jahrhundert war die Grundlage dafür, dass apparativ erzeugte Bilder, wie die der Mikroskopie, als beweiskräftige Objekte in der medizinischen Diagnose und wissenschaftlicher Argumentation eingesetzt werden konnten.“

- 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 macrocosmos a profundidades y lejanías antes impensables con dispositivos de registro digital de datos que posteriormente se procesan y aplicándoles técnicas de edición de imágenes o de color falso (Figuras 4.6 y 4.7).

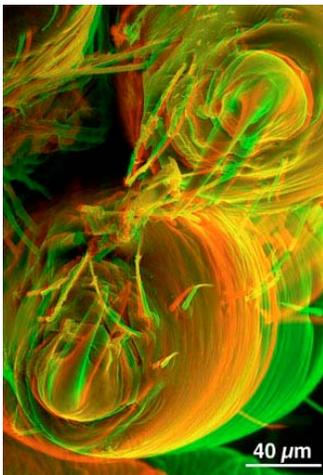


Fig. 4.6: Fotomicrografía de las patas de una araña. La aparente falta de definición se debe a que es la superposición de imágenes fuera de fase del objeto en rojo y verde con la finalidad de que el observador las vea en tercera dimensión

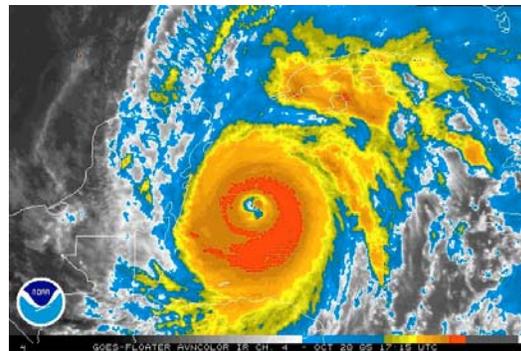


Fig. 4.7: Fotografía satelital en el infrarrojo del huracán Wilma con la aplicación de color falso

- 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 4.8), modelaciones y simulaciones (Figuras 4.9 y 4.10), y la exploración de correlaciones en series de datos (Figura 4.11).

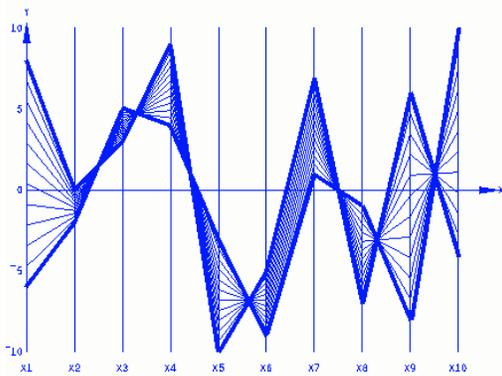


Fig. 4.8: *Parallel coordinates*

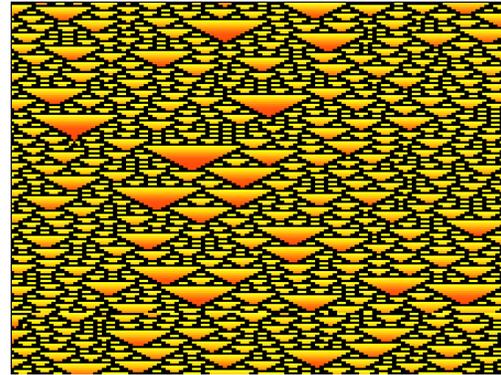


Fig. 4.9: Autómata celular



Fig. 4.10: Fractal

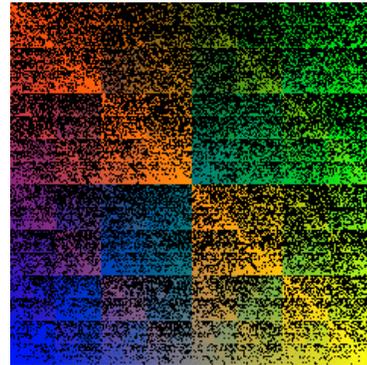


Fig. 4.11: Juego del caos en el DNA

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

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, dar una forma

geométrica a datos abstractos, crear imágenes sin referente físico alguno (como en las figuras 4.9, 4.10 y 4.11). La gran capacidad de cómputo y las imágenes resultantes que producen estos procesos, podrían influir en la manera de hacer ciencia, cambiar las concepciones acerca de las imágenes que produce la ciencia y podrían hacer temblar hasta los paradigmas que rigen la comunicación científica en cuanto a la relación entre texto e imagen y el peso de la información visual frente al texto verbal.

4.1.2 Las visualizaciones computacionales de datos multivariados y de información

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 4.12) que muestra los efectivos del ejército napoleónico en su avance y retirada de Rusia, siendo el grosor de las líneas proporcional a los supervivientes en ese momento, mientras el gráfico inferior muestra simultáneamente las temperaturas sufridas durante la retirada.

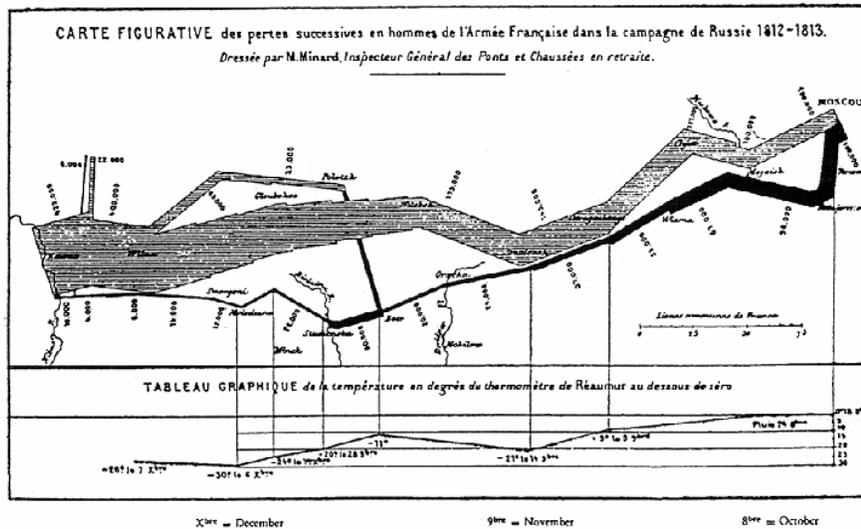


Fig. 4.12: La campaña napoleónica en Rusia 1812-1813

La visualización computacional de datos e información, sin embargo, apenas llega a dos décadas de existencia.⁸ Es una rama de la graficación por computadora que conjunta técnicas de procesamiento de imágenes, la visión por computadora, el diseño asistido por computadora, modelación geométrica e integra aportes de la teoría de la aproximación, la psicología de la percepción y el estudio de interfases para el usuario.

Podemos distinguir la visualización computacional de la visualización científica o técnica, la que 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 conoci-

⁸ Véase Card, Stuart Card, Stuart; Jack Mackinley y Ben Shneiderman (eds.), *Readings in information visualization. Using vision to think*, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1999, p. 231.

mientos no espaciales inherentemente, son convertidos en una forma visual que permiten 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 cálculos complejos, modelaciones y simulaciones. Su esencia queda expresada en las siguientes citas:

“El propósito de la computación es la comprensión, no los números.”⁹

“La visualización es un método de cómputo. Transforma lo simbólico en lo geométrico, permitiendo a los investigadores observar sus simulaciones y calculos. La visualización proporciona un método para mirar lo invisible. Enriquece el proceso de descubrimiento científico y estimula entendimientos profundos e inesperados. En muchos campos ya está revolucionando la manera en que los científicos hacen ciencia.”¹⁰

“La visualización científica no tiene que ver con gráficas computacionales hermosas.... Es exploración y descubrimiento –el anhelo de encontrarle sentido a enormes colecciones de datos físicos y numéricos que representan una lista sin fin de fenómenos naturales.”¹¹

Mientras las primeras técnicas de visualización computacional eran muy sofisticadas y necesitaban de un equipo de especialistas en cómputo, bases de

⁹Frase famosa del matemático Richard W. Hamming. Cita original en ingles: “The purpose of computing is insight, not numbers”.

¹⁰ McCormick, B. H.; De Fanti, T.A. y M.D. Brown., “Visualization in scientific computing”, *Computer Graphics*, vol. 21, núm 6, noviembre 1987, pp. 1-14. Cita original en ingles: “Visualization is a method of computing. It transforms the symbolic into the geometric, enabling the researchers to observe their simulations and computations. Visualization offers a method for seeing the unseen. It enriches the process of scientific discovery and fosters profound and unexpected insights. In many fields it is already revolutionizing the way scientists do science.”

¹¹ Mahoney, Diana Phillips, “Unlocking the mysteries of science”, *Computer Graphics World*, vol. 7, núm. 18, julio, 1995, p. 23. Cita original en ingles: “Scientific visualization is not about beautiful computer graphics... It’s about inquiry and discovery- the quest to make sense of vast collections of numerical and physical data representing an endless array of natural phenomena.”

datos y del área de la investigación científica determinada, hoy, a pesar de algunas excepciones, es posible que un número cada vez mayor de científicos pueda hacer uso directo de esta tecnología mediante *software* comerciales y abiertos, *software* que cada vez más toman en cuenta para su diseños estudios sobre la percepción¹² y cuestiones estéticas. Los científicos tiene con ello acceso a una herramienta que también les da la libertad de tomar decisiones sobre las formas, los colores y la composición de las imágenes finales según sus propios gustos y finalidades. 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 la presentación de resultados finales, sino, en primer lugar, para entender y descubrir.

4.2 La lectura del artículo científico y sus ilustraciones

“<<Un artículo científico no se diseña para ser leído, sino para ser publicado>>. Aunque esto fue dicho en broma, esconde mucha verdad. Y, de hecho, si el artículo se diseña para ser publicado, lo será en una forma prescrita que pueda ser leída, o al menos el lector puede captar su contenido de manera rápida y fácil.”¹³

¿Cuánto hay que leer para estar actualizado en un campo científico dado? La cantidad exorbitante de literatura científica que se produce hoy en día imposibilita

¹² Véase Ware, C. *Information visualization: Perception for design*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2000.

¹³ Day, Robert A., *How to write and publish a scientific paper*, Philadelphia: ISI Press, 1979, p. 4. Cita original en inglés: “<<A scientific paper is not designed to be read, It is designed to be published>>. Although this was said in jest, there is much truth in it. And, actually, if the paper is designed to be published, it will be in a prescribed form that can be read, or al least its contents can be grasped quickly and easily by the reader.”

hasta al científico hiper-especializado conocer toda la información que se publica en su área. Un estudio que abarca el período de 1977 al 2001, reporta que en promedio se leen 120-130 artículos por científico al año.¹⁴ Esta situación influye tanto en la manera de escribir como en la manera de leer textos científicos. El artículo científico es un tipo de texto¹⁵ con características lexicales y estructurales específicas. No necesariamente se lee el texto en su totalidad, ni se lee de manera lineal como otros textos con fines distintos a la comunicación científica entre pares en el área de las ciencias naturales y exactas.

Para textos en general, se podría afirmar que lo primero que se lee es el título para ver de qué trata el texto, pero en caso de contener ilustraciones, nuestros ojos caerán inmediatamente después sobre las imágenes que atraen nuestra atención. Después se leerá el pie de foto o leyenda para tener más información sobre lo que uno ve. Por lo menos así lo afirma Bear, un experto editorial:

“Después de los encabezados y las gráficas, las leyendas ocupan el tercer lugar de las partes más miradas de la mayoría de las páginas impresas.”¹⁶

¹⁴ Véase Tenopir, Carol y Donald. W. King, “Reading behaviour and electronic journals” en *Learned Publishing*, vol. 15, núm. 4, 1 de octubre, 2002, pp. 259-265.

¹⁵ El término en alemán es *Textsorte*, un término de la lingüística. Un tipo de texto se deja clasificar por varios aspectos a la vez: su función comunicativa, las condiciones en que se sitúa como el medio o el canal, sus aspectos de contenido y temática, sus particularidades de estructura y lenguaje y su forma externa o *layout*. Véase Heinemann, W. “Textsorten. Zur Diskussion um Basisklassen des Kommunizierens Rückschau und Ausblick”, en Adamzik, K. (ed.), *Textsorten. Reflexionen und Analysen*, Tübingen: Stauffenburg, 2000.

¹⁶ Bear, Jacci Howard, “Your guide to desktop publishing” (consultado en <http://desktoppub.about.com> el 15 de septiembre de 2005). Cita original en inglés: “After headings and graphics, captions are the third most looked at portion of most printed pages.”

No hay duda que la lectura de los periódicos y las revistas ilustradas son un buen ejemplo para este proceder. Pero para saber qué pasa en la lectura de artículos científicos, es necesario recurrir a estudios empíricos más específicos. Gran parte de estos estudios se basan en entrevistas a lectores de varios tipos, otros aplican técnicas de *eye-tracking* que grafican los movimientos del ojo al pasar por el texto, aunque estas simulaciones de lectura probablemente no sean tan confiables como se anhela. Lo que se sabe es que existen muchas maneras de leer un artículo y éstas no solamente varían individualmente por intereses específicos, sino también dependen del campo del conocimiento en que se inscribe la investigación reportada.

Una fuente de información a la cual se puede recurrir, son las recomendaciones que se le da a los estudiantes en ciencias sobre cómo leer un artículo científico. El caso que aquí se expone, es el de un profesor de biología molecular que propone un guión de lectura muy sugerente:

1. Leer el resumen y la introducción primero para saber de que se trata y su trasfondo.
2. Estudiar las figuras y los cuadros; imaginarse lo que significan los datos y su relación con el resumen.
3. Leer la discusión. Relacionar estas conclusiones con los datos en las figuras y los cuadros.
4. Leer los resultados para ver los detalles de cómo fueron obtenidos los datos y cual es su significado.
5. Ahora, leer las secciones de materiales y métodos o detalles experimentales con la profundidad que se desee.

6. Volver a leer la discusión y otras partes del artículo tanto como sea necesario.”¹⁷

Este guión no hace alusión a las leyendas, pero se puede suponer que se leen junto con las figuras y los cuadros y que el título ya se leyó para saber si realmente interesa el texto y se tomó la decisión de leerlo. Pese a las variaciones en las recomendaciones¹⁸, al menos en el área de las ciencias de la vida y la medicina, no queda duda sobre el lugar privilegiado de las imágenes en el orden en que se lee un artículo, ya que existe cierto consenso sobre la importancia de las figuras y los cuadros en la concentración de información importante para un artículo científico.

Con la aparición de la publicación electrónica hubo un auge en los estudios sobre los hábitos de los científicos en calidad de usuarios de los recursos informativos y sus preferencias en la búsqueda y consulta de información. Por el hecho de que muchas revistas publican simultáneamente versiones impresas y electrónicas del mismo título, frecuentemente las bibliotecas tratan de inculcar en los lectores una cultura digital y, con el argumento del costo y del espacio que ocupan las

¹⁷ Smith, Douglas, “Molecular Biology IBM 100. Fall, 2000. Journal Articles”, consultado en <http://www-biology.ucsd.edu/classes/old.web.classes/bimm100.FA00/articles.html> el 30 de marzo de 2003). Cita original en inglés: “1. Read the abstract and introduction first for major take home information and background. 2. Study the figures and tables; figure out what the data mean and its relation to the abstract. 3. Read the discussion. Relate these conclusions to the figure and table data. 4. Read the results for details of how the data were obtained and what they mean. 5. Now, read the materials and methods or experimental details sections as desired for in-depth reading. 6. Re-read the discussion and other parts of the paper as needed.”

¹⁸ Véase también Rebers, John, *Biology 495. Biology of cancer. Course Syllabus Fall 2001* (consultado en <http://www.instruct.nmu.edu/~jrebers/syllabus.htm> el 30 de marzo de 2003) y Furlong, Michelle, “How to critically read a scientific paper”, *Biocomputing*, Fall 2001 (consultado en <http://a-s.clayton.edu/cauthen/BIOL3200/Admin/How%20to%20Read%20a%20Scientific%20Paper.doc> consultado el 30 de marzo de 2003).

coleccionen en papel, anhelan a dar de baja al material impreso. Entre los estudios aludidos destacan nuevamente los trabajos de Carol Tenopir que con otros colegas¹⁹ sigue con interés los desarrollos recientes en el uso de las publicaciones periódicas. Reportan que en 2001-2002 ya el 80 % de los artículos son leídos en ambiente electrónico y adjudican el remanente del 20 % al menor esfuerzo que representa la lectura en papel junto con los hábitos resistentes al cambio. Pero también tocan un tema muy interesante: la preferencia de hojear el número más actual de una revista dada.

Según estudios de los hábitos de lectura frente a la opción electrónica, los científicos tienden a usar las versiones electrónicas y los *preprints* para propósitos de *browsing*, pero imprimen los artículos de su interés que quieren leer con más profundidad (*in-depth reading*)²⁰. Esto ocurre sobre todo con las versiones en PDF ya que visualmente corresponden al artículo impreso²¹ y esto sigue vigente aún según un reporte publicado en agosto del 2003.²² La dificultad de leer en la pantalla puede que sea un problema generacional, pero no se puede limitar a ello. La discrepancia entre una página que el lector domina visualmente y la pantalla del monitor, lo engorroso de hacer anotaciones o subrayados en una versión

¹⁹ Véase Tenopir, Carol; Donald W. King; Peter Boyce y Matt Grayson, "Patterns of journal use by scientists through three evolutionary phases", en *D-Lib Magazine*, vol. 9, núm. 5, mayo, 2003. También Boyce, P.; King, D.W.; Montgomery, C. y Tenopir, C., "How electronic journals are changing patterns of use", en *The Serials Librarian*, vol. 46, núm. 1/2, 2004.

²⁰ Véase Boyce, P. y Dalterio, H., "Electronic publishing of scientific journals", en *Physics Today*, vol. 49, núm. 42, enero, 1996, pp. 42-47 (consultado en <http://www.aas.org/~pboyce/epubs/> el 6 de abril de 2004).

²¹ Véase Tenopir et al., *op. cit.*

²² Véase Tenopir, Carol (con Branda Hickcock y Ashley Pillow), "Use and users of electronic library resources: An overview and análisis of recent studies. A summary of a report published by the Council on Library and Information Resources", agosto de 2003 (consultado en <http://clir.org/pubs/execsum/sum120.html> el 30 de enero de 2007).

electrónica y la distracción que causa la inclusión de información adicional en *boxes*, son algunos de los factores negativos que se citan en los estudios. En lo que refiere a las ilustraciones, estos estudios no ponen mayor énfasis que el de la posibilidad de agrandar las figuras mediante un *zoom* o se comenta la tardanza en el despliegue de archivos gráficos enormes.²³ Pero una vez a la vista del lector ¿qué pasa con la lectura de las imágenes mismas?

4.2.1 Las ilustraciones científicas y sus lecturas

“Como resultado de este componente visual acrecentado, el artículo científico se ha vuelto tanto para interpretar la información en figuras y cuadros como para leer texto llano.”²⁴

Para entender imágenes visuales en general se requiere de cierta alfabetización visual que se basa tanto en competencias perceptivas como semióticas.²⁵ Muchos aspectos de la percepción se abordaron en el apartado sobre la visión²⁶ por lo que aquí solamente se alude a las capacidades físicas. La figura 4.13 por ejemplo muestra una imagen con la que se pone a prueba personas daltónicas que no pueden apreciar el número 26 representado mediante distintos colores, por lo que

²³ Véase *ibidem*, p. 338.

²⁴ Gross, Alan G. Y Joseph E. Harmon, “What’s right about scientific writing”, en *The Scientist*, vol. 13, núm. 24, 6 de diciembre, 1999, p. 20. Cita original en inglés: “As a result of this increased visual component, the scientific article has now become as much about interpreting information in figures and tables as reading straight text.”

²⁵ Véase Sachs-Hombach, Klaus, *Das Bild als kommunikatives Medium. Elemente einer allgemeinen Bildwissenschaft*, Köln: Herbert von Halem Verlag, 2003.

²⁶ Véase Capítulo 3.

estos aspectos también deben ser tomados en cuenta en el diseño mismo de la imagen para ser leída por el mayor número posible de lectores.

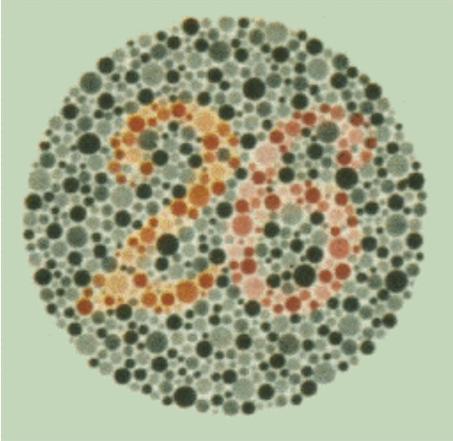


Fig. 4.13: Prueba de daltonismo

Al hablar de la competencia semiótica que desvela el significado de una imagen, es menester advertir en primer lugar que el

“lenguaje visual no es transparente y entendible de manera universal, sino su especificidad es cultural.”²⁷

Si esto es válido en general, más lo será para el contexto de la cultura científica con sus tradiciones y técnicas de representación visual.²⁸ No se puede ver (entender) lo que uno no conoce; existe una relación compleja entre ver y saber:

²⁷ Kress, Gunther y Theo van Leeuwen, *Reading images. The grammar of visual design*, London: Routledge, 1996, p. 3. Cita original en inglés: “visual language is not transparent and universally understood, but cultural specific.”

²⁸ Véase el apartado de cultura en el Capítulo 2.

“Cada acto de ver es un acto de la interpretación activa. En un territorio normal de nuestras percepciones visuales llevamos a cabo de manera inconsciente actos incontables sin toparnos con grandes dificultades. Si por lo contrario somos confrontados con *insights* en paisajes visuales con los cuales no tenemos ninguna experiencia anterior, la relación recíproca y compleja entre ver y saber se convierte obviamente en un problema. El arte de la observación microscópica [...] presenta desafíos igualmente grandes como las imágenes que podemos ver en los telescopios.”²⁹

Toda imagen provoca mecanismos automáticos de la percepción llamados procesos pre-atentivos que causan impresiones inconscientes y ponen en marcha capacidades cognitivas inherentes al ser humano como lo parece ser el reconocimiento de patrones³⁰, por ejemplo. En la siguiente fase en una lectura más precisa entran en juego aspectos de iconicidad y abstracción, de monosemia y polisemia, de simplicidad y complejidad, así como como preguntas por la denotación y la connotación de una imagen.³¹ No obstante, para entender una imagen especializada, el contexto específico es la guía principal para la interpretación y son absolutamente necesarios conocimientos previos sobre los procedimientos técnicos en la creación de la imagen y las convenciones de

²⁹ Kemp, Martin, *Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene*, Köln: Dumont, 2003, pp. 69 bis. Cita original en alemán: “Jeder Akt des Sehens ist ein Akt der aktiven Interpretation. Im normalen Territorium unserer visuellen Wahrnehmungen vollziehen wir jeden Tag unbewusst zahllose solcher Akte, ohne dabei auf große Schwierigkeiten zu stoßen. Werden wir hingegen mit unvertrauten Einblicken in visuelle Landschaften konfrontiert, mit denen wir noch keine Erfahrung gemacht haben, wird die komplexe Wechselwirkung zwischen Sehen und Wissen auf einmal offenkundig zum Problem. Die Kunst der mikroskopischen Beobachtung [...] stellt unser Wahrnehmungsvermögen vor ebenso große Herausforderungen wie die Bilder, die man in Teleskopen sieht.”

³⁰ Véase Benz, Arnold, “Das Bild als Bühne der Mustererkennung”, en Heintz, Bettina y Jörg Huber (eds.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich: ITH-Voldemeer/Wien: Springer, 2001, pp. 72-74.

³¹ Véase Aparici, Roberto y Agustín García-Matilla, *Lectura de imágenes*, Madrid: Ediciones de la Torre, 1998.

representación, siendo las competencias y las estrategias también distintas para diferentes tipos de imágenes.

En una imagen figurativa como la fotografía documental y los dibujos realistas, en primera instancia, se trata de identificar los elementos básicos contenidos en la imagen. Si no es posible reconocer lo que la imagen representa, aumenta el esfuerzo cognitivo porque es necesario activar en este estadio más conocimientos y hay que tomar en cuenta más elementos contenidos en la imagen. Para imágenes productos de técnicas especiales como la micrografía o la imagenología médica o astronómica, las técnicas como fueron hechas se vuelven cruciales para su entendimiento. Y según las especialidades también depende qué es lo que se busca primordialmente en las imágenes como, por ejemplo, el patólogo que está entrenado en detectar anomalías y no regularidades.

Para leer gráficas, los procesos cognitivos son más complicados que en las imágenes figurativas. Los pioneros que estudiaron estos fenómenos fueron Pinker³² y Kosslyn³³. Estudios recientes desde el campo de la psicología cognitiva tratan de integrar nuevos enfoques que aporten a una teoría general de la comprensión de gráficos como muestran las investigaciones basadas en experimentos realizadas por Feeney y otros, que formularon un paradigma basado

³² Pinker, S., "A theory of graph comprehension" en Freedle, R. (ed.), *Artificial intelligence and the future of testing*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd., 1990, pp. 73-126.

³³ Kosslyn, S.M., "Understanding charts and graphs", en *Applied Cognitive Psychology*, vol. 3, 1989, pp. 185-226.

en la verificación frase-gráfico³⁴, es decir, la interacción entre información visual y textual, o de Trafton y otros³⁵, que constatan que en gráficos y visualizaciones de mayor complejidad, los lectores realizan una transformación espacial al crear una nueva imagen mental de lo expuesto. Cabe señalar, que estos estudios se enfocan a los procesos que ocurren cuando a un alumno o a un científico se le plantea ciertas preguntas sobre una gráfica dada y analizan las estrategias de como se extrae la información de los gráficos.

Los resultados de estos estudios no son fácilmente transferibles a la lectura de las ilustraciones en artículos científicos, ya que es el contexto que influye sobremanera y existe más texto relacionado que la propia leyenda y, hoy en día, también se puede encontrar información adicional en los suplementos electrónicos. También depende de la simplicidad o complejidad de la representación gráfica de que se trate. Si pensamos en la gran sofisticación de las visualizaciones computacionales que se presentaron en el primer apartado del presente capítulo, también aumentó la diversidad de los *software* disponibles con sus formatos diversos y pareciera que ciertos tipos de visualizaciones son tan especializadas que otros científicos no directamente involucrados en el mismo campo, pero para los que son de utilidad los resultados publicados, tienen serios

³⁴ Feeney, Aidan; Ala K.W. Hala; Simon P. Liversedge; John M. Findlay y Robert Metcalf, "How people extract information from graphs: Evidence from a sentence-graph verification paradigm", 2000 (consultado en <http://www.dur.ac.uk/aidan.feeney/PDFs/Diagrams2000.pdf> el 4 de abril de 2005).

³⁵ Véase Trafton, J. Gregory; Trickett, Susan B. Y Farilee E. Mintz, "Connecting internal and external representations: spatial transformation of scientific visualizations", en *Foundations of Science*, núm. 10, 2005, pp. 89-106.

problemas en interpretarlas, como lo demuestra un pequeño relato de una bióloga (véase el Anexo 9.6) participante en un seminario interdisciplinario.

El problema de la comprensión de gráficos y los procesos cognitivos subyacentes, está lejos de ser totalmente resuelto. En lo que sí hay consenso es, que la lectura de una imagen difiere totalmente de la lectura de un texto. Mientras el último se lee de manera lineal (en nuestra cultura de izquierda a derecha), en el caso de las imágenes visuales no existe esta linealidad: el ojo recorre la imagen sin una regla determinada. Después de una impresión global procede un análisis más detallado y entra en juego también el texto, sobre todo la leyenda, y acaso, otra información textual disponible. Se puede presumir que al igual que lo que ocurre con el artículo científico en general, también en el caso de las ilustraciones hay diferentes maneras de leerlas parecidas al *browsing* y *in-depth reading*, dependiendo del propósito específico del lector. También influye, si la lectura parte del texto que refiere a una imagen y que indica qué ver en ella o desde la imagen misma con sus medios propios para atraer o guiar la atención.

Por último, hay que destacar que la lectura de una imagen no necesariamente es lo mismo que comprobar realmente su validez, para lo que indudablemente se tiene que recurrir tanto a las explicaciones de los experimentos realizados o, en el caso de las visualizaciones computacionales, a los *software* utilizados, es decir, a toda la información que permita repetir los experimentos o los cálculos complejos.

5. HACIA UNA TIPOLOGIA DE LAS ILUSTRACIONES CIENTIFICAS

Para poder clasificar las ilustraciones contenidas en la muestra de artículos a analizar, es menester construir una tipología acorde al marco teórico que a la vez sea operativa y subsane las limitaciones expuestas de las clasificaciones convencionales¹, por lo que es necesario recurrir a la literatura de otras disciplinas como la didáctica, la pedagogía y la psicología cognitiva, área donde hay interés en el estudio del papel de las imágenes en los procesos del aprendizaje y la transmisión de conocimientos.² En este contexto interesan sobre los tipos generales de imágenes³ que proponen, así como las funciones que se les adjudica a las ilustraciones. También las ciencias de la comunicación⁴, la semiótica⁵ y la informática⁶ pueden aportar en la búsqueda de conceptos útiles para elaborar la tipología que permitirá clasificar a las ilustraciones. En el caso de la comunicación visual y la semiótica visual son de utilidad conceptos como código (codificación de los mensajes) e iconicidad y su escala de rangos que van de lo figurativo a lo abstracto. La informática, a su vez, mediante la consideración de los tipos de datos que subyacen a las representaciones y la producción de imágenes en el

¹ Véase Capítulo 1.

² Véase Schnotz, Wolfgang, "Wissenserwerb mit logischen Bildern", en Bernd Weidenmann (ed.), *Wissenserwerb mit Bildern*, Bern: Hans Huber, 1994, pp. 95-147 y Weidenmann, Bernd, "Informierende Bilder" en Bernd Weidenmann, *op. cit.*, pp. 9-58.

³ Véase Capítulo 1, apartado 1.2.2.

⁴ Véase Moles, Abraham, *La imagen: comunicación funcional*, México: Trillas, 1991 y Villafañe, Justo, *Introducción a la teoría de la imagen*, Madrid: Pirámide, 1985.

⁵ Véase Chandler, Daniel, *Semiotics for beginners: encoding/decoding*, 2004 (consultado en <http://www.aber.ac.uk/media/Documents/S4B/sem08c.html> el 10 de diciembre de 2006) y Kress, Gunther y Theo van Leeuwen, *Reading images: the grammar of visual design*, London: Routledge, 1999.

⁶ Véase Card, Stuart K.; Mackinley, Jack y Ben Shneiderman (eds.), *Readings in information visualization: using vision to think*, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1999.

ambiente digital, es de gran utilidad para distinguir visualizaciones computacionales de las gráficas de presentación tradicionales⁷ que simplemente convierten números en líneas o puntos dentro de un sistema de coordenadas. A continuación, se expone la integración de estas consideraciones en la elaboración de la tipología en cuestión.

5.1 Tipología general de las imágenes

Es necesario recalcar que el ser humano es la única especie capaz de producir representaciones visuales de su propia realidad y se pueden documentar sus manifestaciones desde las pinturas rupestres (Figura 5.1) hasta la creación de paisajes virtuales (Figura 5.2).



Fig. 5.1: Pinturas rupestres

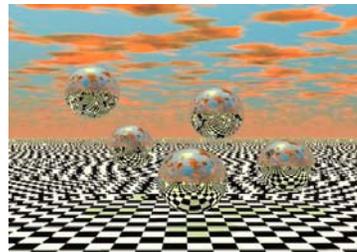


Fig. 5.2: *Computer graphics*

A diferencia de las imágenes mentales que son consideradas representaciones internas, las imágenes visuales producidas por el ser humano son representaciones externas de esta realidad. Las representaciones externas se dividen usualmente en lenguaje natural, lenguaje formal y representaciones visuales:

⁷ Aunque sean hechas por computadora.

El **lenguaje natural** incluye el habla (lenguaje verbal) y los gestos (lenguaje corporal). La escritura es una visualización del habla que pasó por etapas de desarrollo variadas hasta llegar al alfabeto, un compuesto de signos que, al articularse de manera coherente y según las reglas lingüísticas correspondientes, se convierten en texto.

El **lenguaje formal**, como la formalización matemática, los lenguajes de computación y los sistemas de notación (música, química, etcétera), es producto de una abstracción mayor que se rige igualmente por una sintaxis y una semántica propias de los lenguajes⁸ que producen textos.

Las **representaciones visuales** se distinguen de los lenguajes naturales y formales por su codificación mediante signos icónicos que son directamente identificables (Figura 5.3) en lugar de signos meramente simbólicos que solamente son entendibles mediante convencionalismos (Figura 5.4).



Fig. 5.3: Imagen de una manzana
(Codificación icónica)

MANZANA

Fig. 5.4: *La palabra "manzana"*
(Codificación simbólica)

⁸ Existen discusiones polémicas acerca de los mismos atributos para un supuesto lenguaje visual y la existencia de una gramática visual. Quiero ser un poco conservadora en este momento porque una mezcla de conceptos confundiría en el propósito de diferenciar entre texto e imagen en una publicación científica.

Sin embargo, en la realidad los signos no se utilizan tan tajantemente separados. Muchas representaciones visuales contienen las dos formas de codificación. Aunque una fotografía aérea usualmente es meramente icónica (Figura 5.5), se le puede añadir más información de tipo simbólico (Figura 5.6), mientras que los mapas adquieren significado por contar con una simbología implícita (por ejemplo un color verde para parques y bosques y azul para lagos y el mar) o explícita (sobre todo en cartografía temática) (Figura 5.7) y el debido señalamiento de los nombres geográficos.



Fig. 5.5: Fotografía aérea

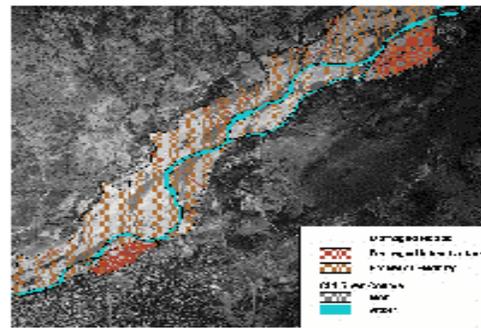


Fig. 5.6 Fotografía aérea con simbología

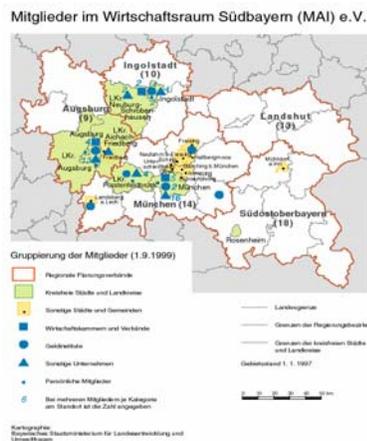


Fig. 5.7: Mapa

También ocurre que signos icónicos (Figura 5.8), al normalizarse su utilización, adquieren significados simbólicos (Figura 5.9), como ilustra el caso de una flecha o lanza como armas o para indicar direccionalidad.



Fig. 5.8: Guerrero con lanza

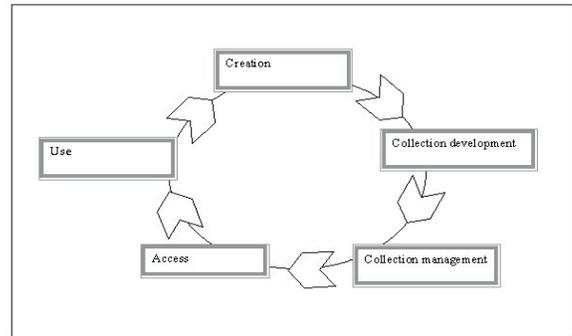


Fig. 5.9: Diagrama con flechas

Pero regresando a las representaciones visuales, éstas se dejan dividir en representaciones visuales espacio-temporales y representaciones pictórico-gráficas.

Las **representaciones espacio-temporales** son objetos que permiten la manipulación física, por ejemplo las esculturas, pero también objetos como el ábaco que es capaz de representar visualmente un número.

Las **representaciones visuales pictórico-gráficas** son imágenes visuales que en cuanto a su relación con la realidad se dejan dividir en tres tipos:

- 1) las realistas que tienen *similitud* con el objeto o fenómeno representado. Pretenden representar objetos o fenómenos que existen en la realidad con fidelidad según las convenciones dominantes de lo que se acepta como “realismo”. Están codificadas icónicamente.

- 2) Las análogas que son aquellas que nos presentan una *analogía*, valga la redundancia, con el objeto o asunto representado utilizando elementos figurativos de manera metafórica. Este tipo de imágenes ofrece una representación pictórica de ideas, conceptos y modelos. Su codificación es icónica predominantemente.

- 3) Las lógicas que *no* tienen *similitud* con un objeto o asunto representado, siendo la analogía construida. Su codificación es icónico-simbólica.

Antes de profundizar en las imágenes visuales para definir los criterios de clasificación específicos que se aplicarán a la muestra, aquí un esquema (Figura 5.10) que concentra lo expuesto anteriormente y ubica a las imágenes dentro de una tipología general de las representaciones:

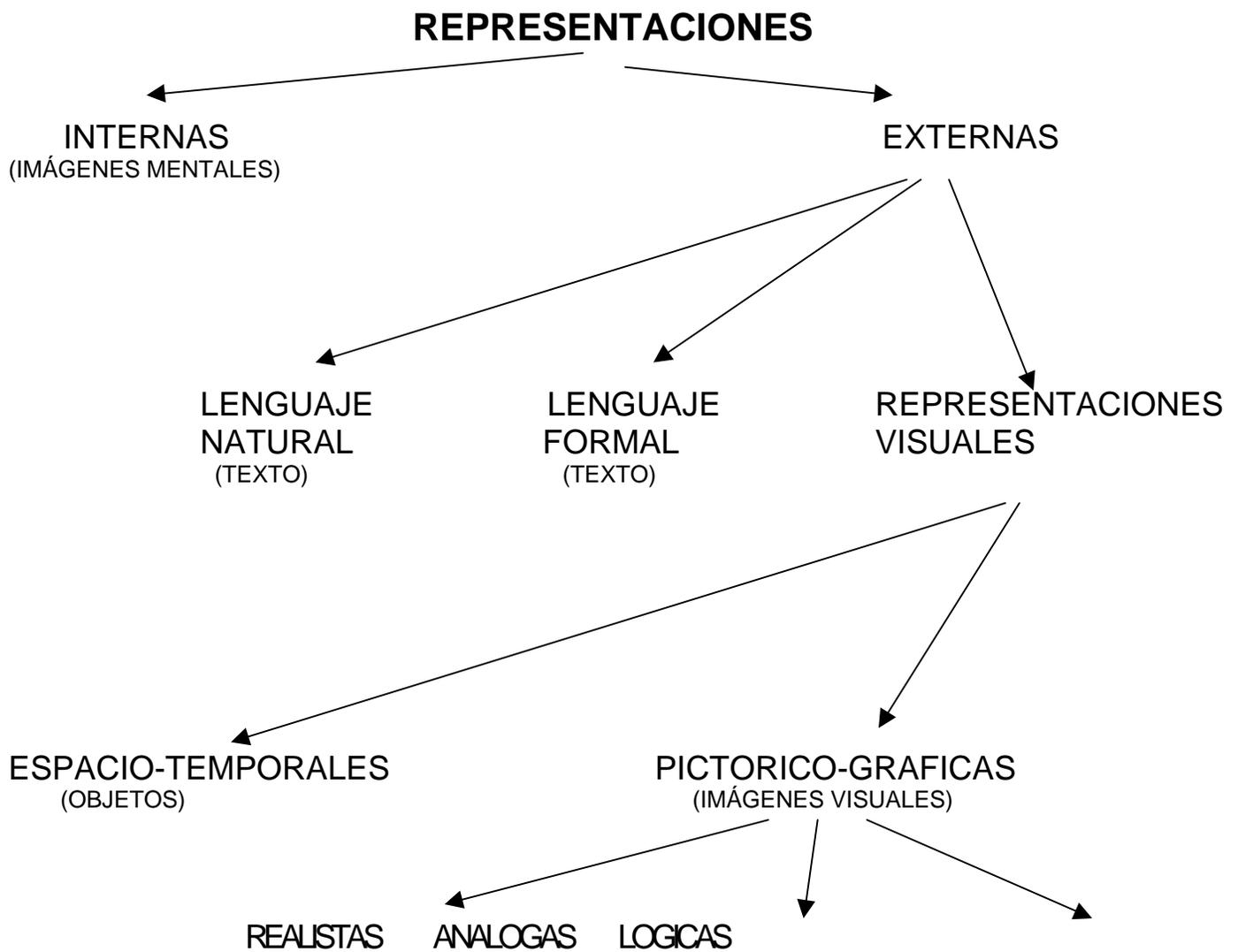


Fig. 5.10: Tipología general de las representaciones

5.2 Tipología específica para clasificar las ilustraciones de la muestra

En el presente apartado se expone con detalle el rubro de las imágenes visuales y sus tres tipos generales, con ejemplos correspondientes al ámbito científico.

1. Las **imágenes realistas** pretenden representar objetos o fenómenos que existen en la realidad con fidelidad según las convenciones dominantes de lo que se acepta como “realismo”⁹. Son imágenes realistas las fotografías o los dibujos fotorrealistas (Figura 5.11), inclusive los dibujos que simplifican la representación, denominados en inglés como *line drawings*. Pero también se deben considerar aquí las imágenes que captan objetos o fenómenos naturales *invisibles* para el ojo humano como la microfotografía o la imagenología médica (Figura 5.12), donde los propios aparatos, de alguna manera, construyen realidades.



Fig. 5.11: Pintura de planta
(Imagen realista)



Fig. 5.12: Tomografía frontal de cráneo
(Imagen realista)

2. Las **imágenes análogas** utilizan elementos realistas de manera metafórica, como ejemplifica la siguiente ilustración (Figura 5.13):

⁹ Véase Jacques Aumont, *La imagen*, Barcelona: Paidós, 1992, p. 220: “El realismo no es sino la medida de la relación entre la norma representativa en vigor y el sistema de representación efectivamente empleado en una imagen dada.”

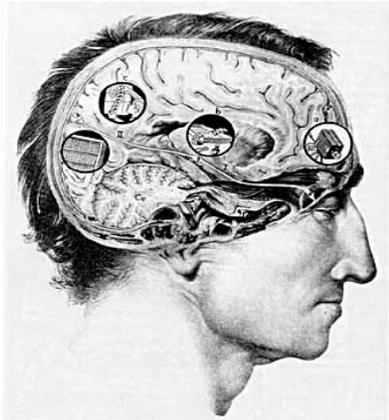


Fig. 5.13: Representación metafórica de la memoria (Imagen análoga)

Este tipo de imágenes ofrece una representación pictórica de ideas, conceptos y modelos, siendo el modelo especialmente importante en las ciencias empíricas ya que

“...es un medio de profundización en un campo determinado de la realidad empírica. Es más abstracto que la realidad empírica, esquematiza e idealiza, para poder llegar a un conocimiento profundo de aquélla.”¹⁰

Las representaciones de modelación computacional que tienen como resultado una imagen figurativa que pretende representaciones cercanas a un objeto real, como son por ejemplo los modelos tridimensionales de estructuras moleculares (Figura 5.14), cabrían en esta categoría.

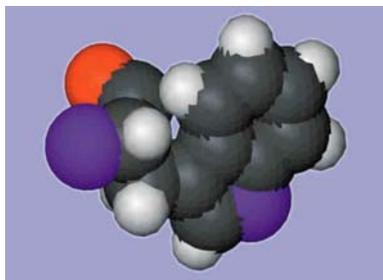


Fig. 5.14: Modelo de una molécula (Imagen análoga)

¹⁰ Lewandowski , Theodor, *Diccionario de Lingüística*, Madrid: Cátedra, 1982, p. 229.

Propongo incluir también entre las imágenes análogas tanto los mapas geográficos y sus variantes, así como las representaciones pictóricas que llamaré diagramas análogos¹¹, ya que al representar objetos o fenómenos naturales contienen información simbólica como etiquetas (Figura 5.15) o se distorsionan las proporciones para destacar algún detalle, por ejemplo.

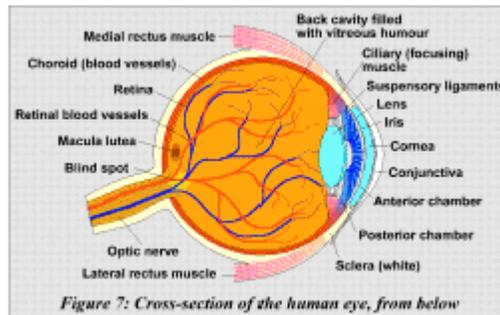


Fig. 5.15: Representación diagramatical del globo ocular (Imagen análoga)

3. Bajo la categoría de las **imágenes lógicas** caen todo los gráficos como los de barras (Figura 5.16), de líneas y de dispersión, entre otros, que presentan conjuntos de datos. Vale la pena, sin embargo, distinguir como subgrupo de las imágenes lógicas, las graficaciones producto de salida¹² de dispositivos como los electrocardiogramas (Figura 5.17) o los sismogramas.

¹¹ Lohse y Walker (*op. cit.*, p. 41) y Weidenmann (*op. cit.*) los denominan diagramas estructurales. Sin embargo las llamaré diagramas análogos para distinguirlos de los diagramas lógicos que se explican más adelante.

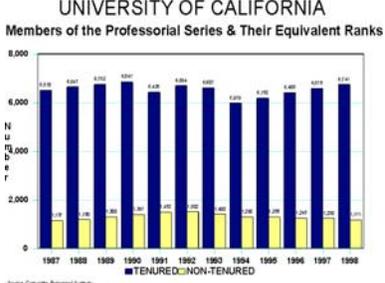


Fig. 5.16 : Gráfico de barras (Imagen lógica)



Fig. 5.17: Electrocardiograma (Imagen lógica)

También se tomará como subgrupo aparte el caso de los diagramas de flujo (Figura 5.18), los diagramas de procesos y de relaciones (redes), que llamo en específico diagramas lógicos. Para las visualizaciones de datos multivariados y de grandes cantidades de información, igualmente se creará un subtipo dentro de la categoría de las imágenes lógicas (Figura 5.19).

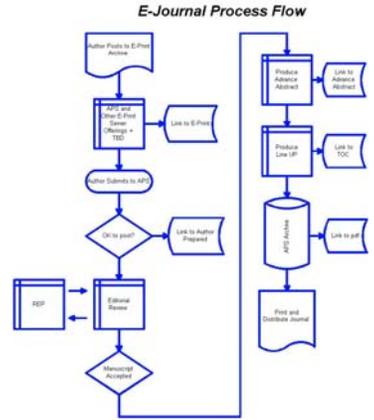


Fig. 5.18: Diagrama de flujo (Imagen lógica)

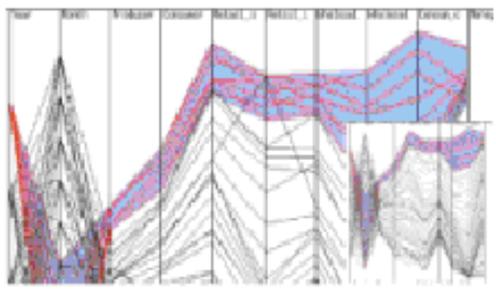


Fig. 5.19: Parallel coordinates (Imagen lógica)

En resumen: tanto las imágenes realistas como las análogas utilizan en primer plano una codificación icónica, mientras las imágenes lógicas cuentan con una codificación icónico-simbólica, ya que utilizan convencionalismos como coordenadas, flechas y líneas que expresan relaciones y jerarquías y,

¹² En inglés *output*.

frecuentemente, no pueden prescindir de letras o números para su entendimiento.

“Una fotografía a color es más icónica que una fotografía en blanco y negro; un retrato es más icónico que una caricatura; un mapa o el plano de una ciudad son menos icónico que una fotografía aérea; un esquema, un diagrama o un organigrama apenas son icónicos de aquello que representan; una fórmula química o matemática o una página escrita son todavía menos semejantes a lo que representan...”¹³

En este tenor, el grado de iconicidad de los mapas geográficos es el más diverso que va desde los mapas físicos a los mapas temáticos.

Partiendo de los cinco términos básicos de la clasificación convencional y a partir de las reflexiones anteriores, es posible realizar un primer traslado de términos que se utilizarán en la construcción de la tipología:

<i>picture</i>	=	imagen pictórica	figurativa no figurativa
[<i>chart</i>] <i>graph</i>	=	graficación	presentacional
<i>graph</i>	=	graficación	de datos sensoriales de visualización computacional
<i>diagram</i>	=	diagrama	análogo lógico
<i>map</i>	=	mapa	
[<i>chart</i>	=	cuadro]	

Falta aún analizar las propuestas clasificatorias de las imágenes relacionadas con sus diferentes funciones y determinar su utilidad para los propósitos de esta investigación. Las propuestas muy generales que aluden a los géneros de imágenes informativas, artísticas y de entretenimiento, cuentan con una categorización de poca utilidad para el contexto de la comunicación científica ya que se descarta de antemano alguna presencia significativa de las dos últimas funciones en los artículos científicos.¹⁴ La gran mayoría de las propuestas se encuentran en el entorno educativo surgidos, sobre todo, por el interés pedagógico en las imágenes con funciones adjudicadas como activación, construcción, atención y sustitución en un proceso de aprendizaje. Este contexto difiere mucho de la comunicación científica donde las ilustraciones en las revistas científicas son imágenes producidas en el proceso de investigación por el mismo autor/investigador o por otros investigadores y se publican para los pares con propósitos ajenos a la didáctica o la divulgación y que requieren de conocimientos previos y códigos compartidos para ser descifradas.

En el campo de la historia de la ciencia se encuentran categorizaciones interesantes como las que propone Harry Robin¹⁵ que sugiere las categorías de observación, inducción, metodología, *Selbstanschauung*¹⁶, clasificación y formación de conceptos. Sin embargo estas reflexiones acerca del valor epistémico de las ilustraciones están dedicadas a la creación del conocimiento

¹³ Costa, Joan, *Imagen pública. Una ingeniería social*, Madrid: Claves de Comunicación Social, 1992, p. 65.

¹⁴ No significa de ninguna manera que las ilustraciones no pueden tener valor estético.

¹⁵ Robin, Harry, *Die wissenschaftliche Illustration. Von der Höhlenmalerei zur Computergraphik*, Basel: Birkhäuser, 1992.

mismo más que a su comunicación y rebasan los propósitos declarados de esta investigación.

Pero el mayor problema aquí es que una ilustración puede tener funciones varias según el texto y el contexto en que se encuentra. Hay que buscar funciones inherentes a los tipos de cada uno de las tres categorías de imágenes –realistas, análogas y lógicas- ligadas al ámbito de la investigación científica y su comunicación formal. Propongo introducir las categorías de *registro*, *presentación* y *visualización computacional* ya que, como se mostrará a continuación, permiten distinguir procesos subyacentes de producción y comunicación de cada ilustración.

1 Se clasifica como **registro** una representación visual fiel para documentar la realidad tal cual como se percibe mediante la visión o por aparatos que potencian la visión, así como una representación directa hecha por un dispositivo de graficación conectado a un sensor (por ejemplo un electrocardiograma o un sismograma). Los registros primordialmente tienen la función de documentar lo que es accesible mediante la percepción sensorial.¹⁷

2 Se propone utilizar el término **presentación** cuando haya ocurrido una transformación (por ejemplo la conversión de números en líneas en una

¹⁶ Se puede traducir como *autorreferencia*.

¹⁷ Aún si hay aparatos de visualización o un sensor de por medio.

representación gráfica o la representación esquemática o diagramatical de un objeto para lograr un fin específico). La función de estas ilustraciones, que surgen de la posibilidad de elegir entre diferentes formas de representación, es sobre todo mostrar lo que es sabido o imaginado, y comunicarlo de la forma más conveniente.

3. Por último, la **visualización computacional** que en este contexto se entiende como una representación que hace visible lo oculto mediante cálculos complejos (por ejemplo, el análisis de cúmulos), produce representaciones que rebasan el nivel presentacional, ya que son parte del proceso mismo de descubrimiento. No excluye la comunicación, pero la función de descubrir la antecede y la caracteriza.

Como resultado de estas reflexiones se elaboró la tipología que se utilizó en el análisis de los artículos de la muestra:

TIPOLOGIA DE ILUSTRACIONES I

REALISTAS

- la.** Registro pictórico de objetos o fenómenos naturales visibles para el ojo humano (*imagen pictórica figurativa*)
- lb.** Registro pictórico de objetos o fenómenos naturales invisibles para el ojo humano (*imagen pictórica figurativa*)

ANÁLOGAS

- Ila.** Presentación pictórica de conceptos, ideas y modelos (*imagen pictórica figurativa*)
- Ilb.** Presentación diagramatical análoga de objetos o fenómenos naturales
 - Ilb1.** Diagramas análogos (*diagrama análogo*)
 - Ilb2.** Mapas geográficos (*mapa*)

LÓGICAS

- IIla.** Registro gráfico de datos sensoriales (*graficación de datos sensoriales*)
- IIlb.** Presentación gráfica de conjuntos de datos (*graficación presentacional*)
- IIlc.** Visualización computacional de datos multivariados y grandes cantidades de información (*graficación de visualización computacional*)
- IIld.** Presentación diagramatical lógica de relaciones, estructuras y procesos (*diagrama lógico*).

La siguiente gráfica (Figura 5.20) muestra que la conexión con la división tradicional de las ilustraciones no se ha perdido y que se puede formar grupos que presentan un espectro decreciente de iconicidad¹⁸:

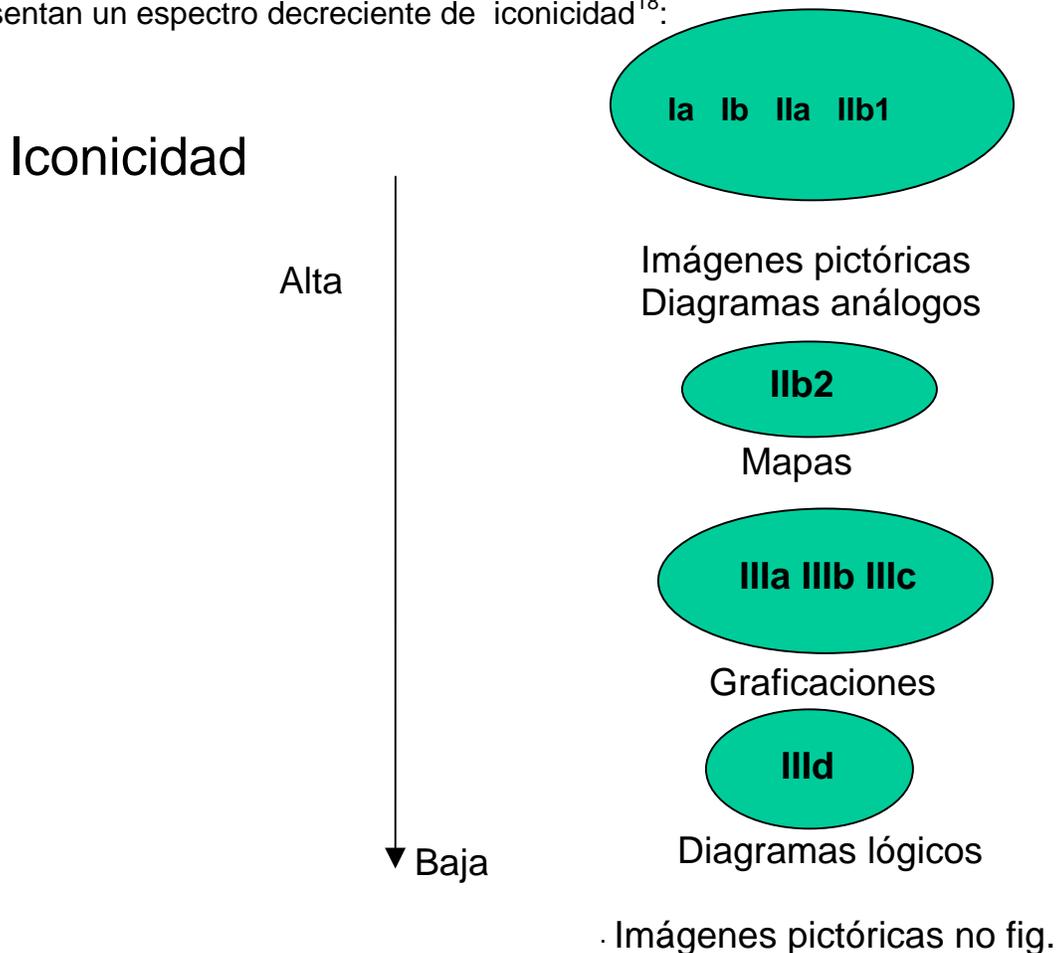


Fig. 5.20: Escala de iconicidad de grupos de ilustraciones

La confrontación con la realidad empírica pondrá a prueba la tipología propuesta. Ya con sus adaptaciones necesarias tendrá que servir para conocer la distribución de los tipos de ilustración en los artículos analizados.

¹⁸ Hay diferencias de los grados de iconicidad en cada conjunto y dentro de cada tipo, pero el esquema nos ofrece un panorama general.

6. RESULTADOS DEL ANALISIS DE LA MUESTRA

6.1 Análisis cuantitativo

6.1.1 Composición de los artículos

Todos los 102 artículos de la muestra cuentan con ilustraciones. En promedio un artículo contiene cinco conjuntos ilustrativos y esto vale tanto para la revista *Science* como para *Nature*. Como era de esperarse, siendo el artículo científico un texto normado con mucha presión sobre el espacio, los autores en lo general acataron las recomendaciones editoriales de cinco a seis conjuntos ilustrativos por artículo, aunque esto no dice todavía nada acerca de sus tamaños y contenidos. Se registraron dos artículos con un solo conjunto ilustrativo como mínimo y un artículo con el máximo de once conjuntos ilustrativos (Figura 6.1).

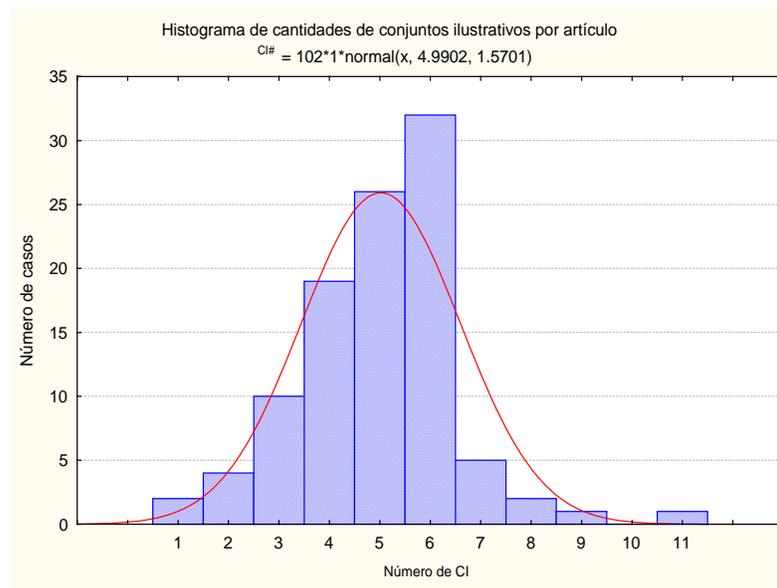


Fig. 6.1: Histograma de la cantidad de conjuntos ilustrativos por artículo

En lo que se refiere a los cuadros, en promedio los artículos contienen un solo cuadro, pero hay que resaltar que más de la mitad de los artículos de la muestra (56%) no incluye este tipo de información (Figura 6.2).

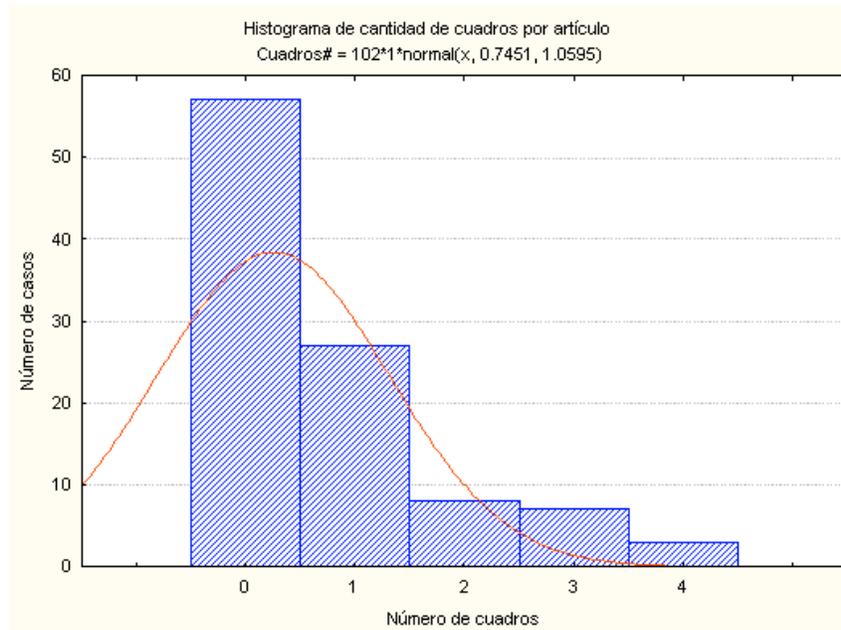


Fig. 6.2: Histograma de la cantidad de cuadros por artículo

El cuerpo de un artículo promedio se conforma de un 55% de texto, un 4% de cuadros y un 41% del espacio ocupado por conjuntos ilustrativos de las cuales un 31% corresponde únicamente a imágenes y un 10% a sus respectivas leyendas (véase Cuadro 6.1).

Cuadro 6.1: 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 grande alrededor de la media, fenómeno que se presenta igualmente en los espacios ocupados exclusivamente por imágenes.

En la siguiente gráfica (Figura 6.3) podemos observar precisamente que existen casos extremos que en la siguiente sección dedicada al análisis cualitativo se estudian con detenimiento, ya que muchas veces las anomalías nos enseñan más que las regularidades.

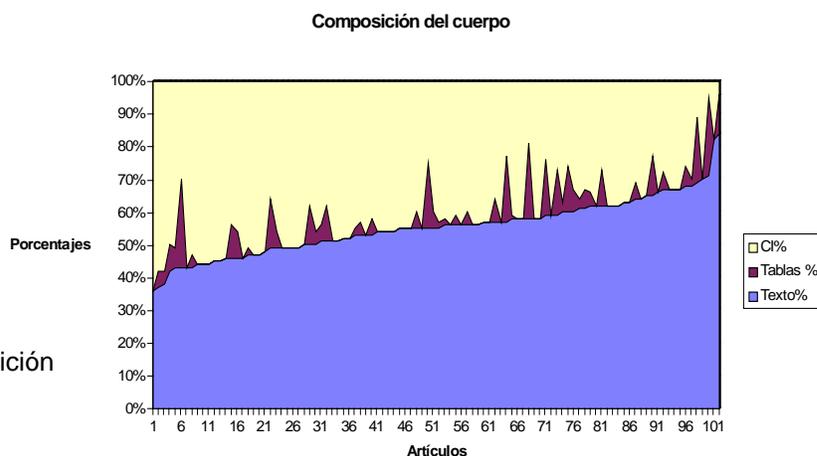


Fig. 6.3: Composición del cuerpo

Si queremos hacer una comparación con la afirmación de Meadows¹ de que los artículos pueden tener una tercera parte de gráficas, hay que ordenar los datos por rangos (Cuadro 6.2):

Cuadro 6.2: Rangos de porcentajes que ocupan las ilustraciones

% ocupado por conjuntos ilustrativos	% ocupado por imágenes
4-5 (2 artículos)	2-3 (2 artículos)
11-31 (16 artículos)	9-32 (55 artículos)
33-49 (62 artículos)	33-55 (45 artículos)
50-64 (22 artículos)	

Vemos que en más del 80 % de los artículos los conjuntos ilustrativos ocupan una tercera parte o más del cuerpo. En el 22% de los 102 artículos, los conjuntos ilustrativos ocupan la mitad o más del cuerpo. El espacio dedicado exclusivamente a imágenes también es considerable, ya que el 45% de los artículos contiene imágenes que ocupan una tercera parte o más del cuerpo.

En cuanto a las correlaciones entre diferentes componentes del cuerpo se registra una clara correlación negativa entre el espacio ocupado por el texto y los

¹ Véase Capítulo 1, p. 24.

conjuntos ilustrativos, es decir, a grandes porcentajes de texto corresponden porcentajes pequeños de conjuntos ilustrativos e imágenes y viceversa (Figuras 6.4 y 6.5).

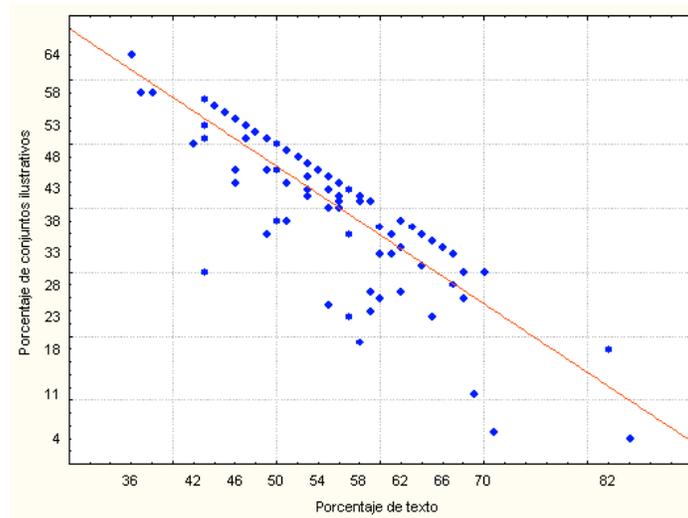


Fig. 6.4: Correlación entre los porcentajes ocupados por texto y conjuntos ilustrativos

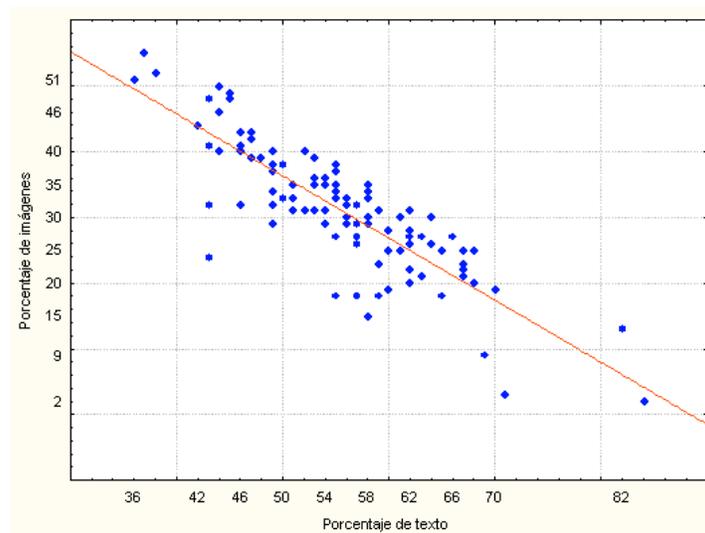


Fig. 6.5: Correlación entre los porcentajes ocupados por texto e imágenes

No influye mucho el tercer elemento que son los cuadros (Figuras 6.6. y 6.7).

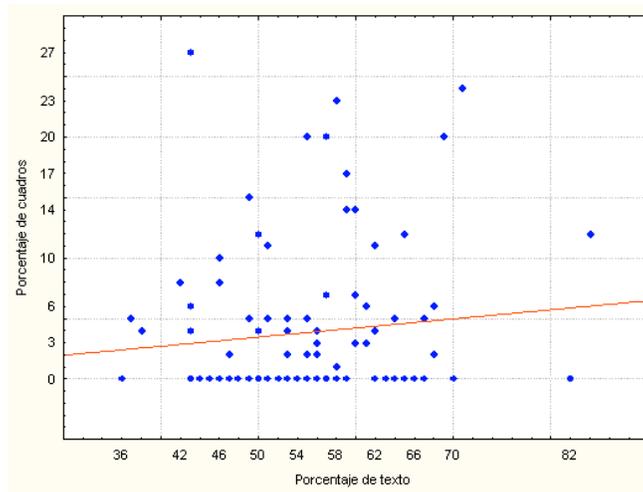


Fig. 6.6: Correlación entre los porcentajes ocupados por texto y cuadros

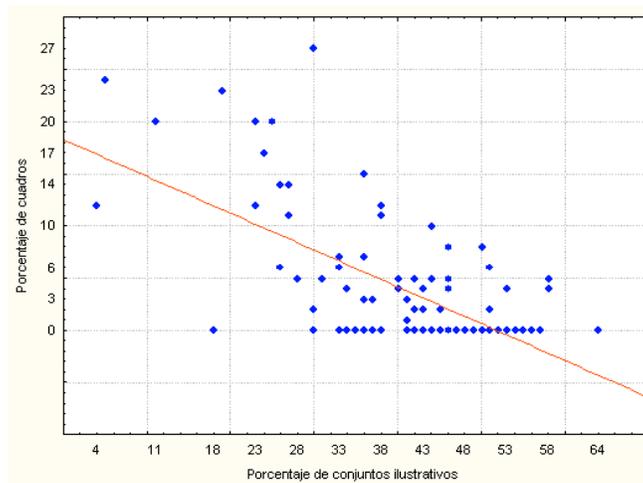


Fig. 6.7: Correlación entre los porcentajes ocupados por conjuntos ilustrativos y cuadros

Existe una ligera correlación positiva entre la cantidad de conjuntos ilustrativos y el porcentaje que ocupan en el texto (Figura 6.8), aunque la dispersión es mayor a la que se puede esperar.

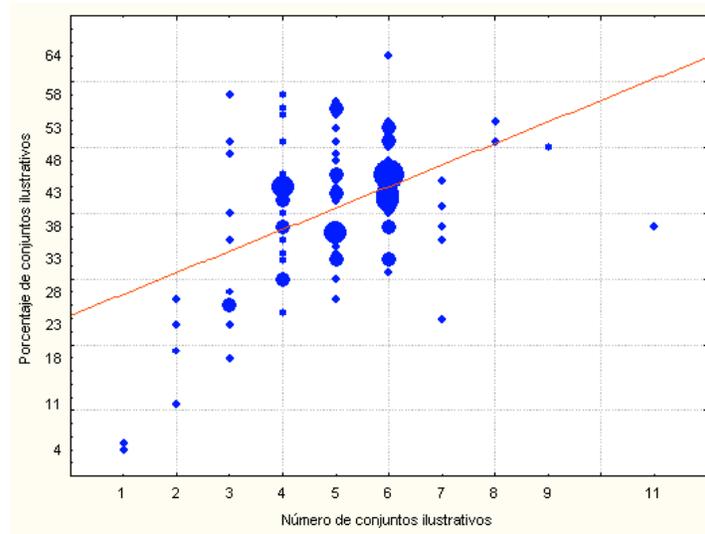


Fig. 6.8: Correlación entre el número de conjuntos ilustrativos y el porcentaje ocupado por ellos

6.1.2 Composición de los conjuntos ilustrativos²

En cuanto a la composición de un conjunto promedio, este se compone de 76% de imagen y un 24 % de leyenda, es decir, predomina la imagen sobre la leyenda (Figura 6.9).

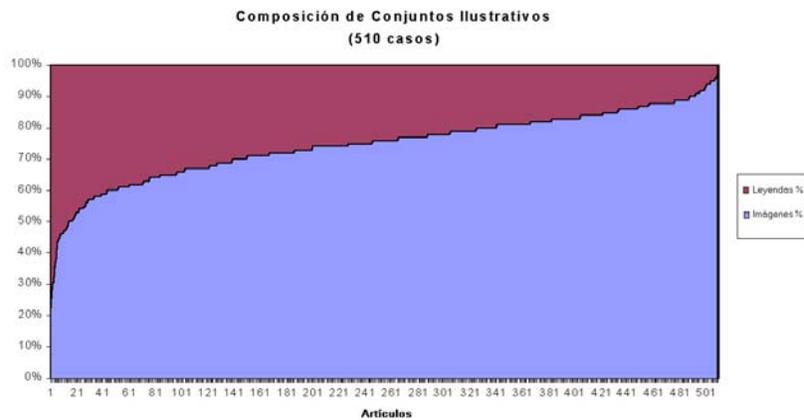


Fig. 6.9: Composición de conjuntos ilustrativos

² No incluye las ilustraciones contenido en los suplementos electrónicos.

En el análisis cuantitativo de los contenidos de los conjuntos ilustrativos se encontró que solamente una pequeña fracción de los conjuntos ilustrativos contienen una sola imagen o gráfica con su respectiva leyenda o ilustraciones bien delimitadas y etiquetadas, cada una con las letras a b c ..., como las revistas lo recomiendan para lo que ellas llaman “figuras compuestas”. Por el contrario, se encontraron conjuntos ilustrativos con una gran variedad de representaciones visuales (Figura 6.10), con multitudes de microfotografías (Figura 6.11).

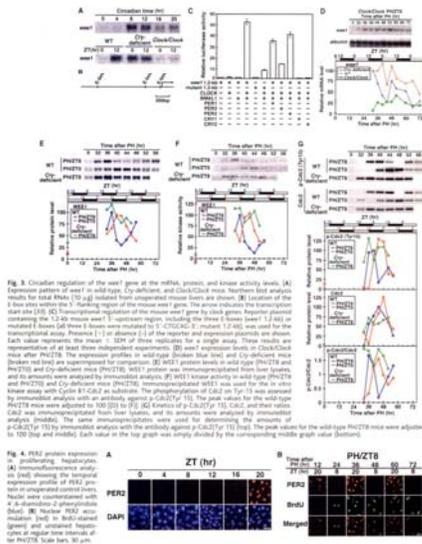


Fig. 6.10: Variedad de representaciones

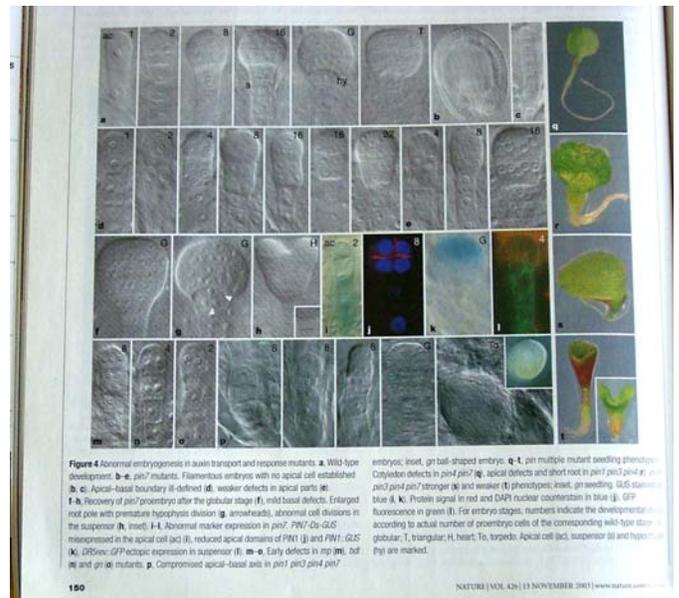


Fig. 6.11: Aglomeración de imágenes

Para poder captar el contenido de cada conjunto ilustrativo tuve que idear una clasificación de los conjuntos, ya que la asignación de letras para indicar los componentes de un conjunto no sirven para contarlos, dado que su aplicación no es uniforme ni consistente por parte de los autores.

La clasificación propuesta se desglosa como sigue:

Clases de conjuntos ilustrativos

SID ³	Single Image Display
MID	Multiple Image Display

Clases de componentes

S	Simple
nS	No Simple
D	Densificado
C	Compuesto
A	Aglutinado

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 imágenes se encuentran en una estructura o en ejes cartesianos donde importa la posición. Para entender mejor esta clasificación, se presentan algunos ejemplos típicos (Figuras 6.12 a 6.15):

³Terminología inspirada en Lynch quien utiliza *multi image display*. Véase Lynch, Michael, "The externalized retina: Selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences", en Lynch, Michael y Steve Woolgar (eds.), *Representation in scientific practice*, Cambridge: MIT, 1990.

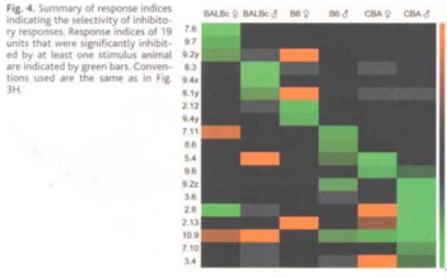


Fig. 6.12: SID-S: Una sola imagen simple

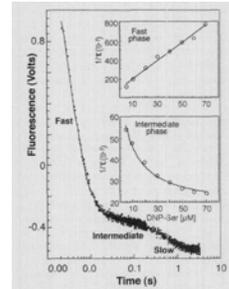


Fig. 6.13: SID-nS (D):

Una imagen densificada de tres elementos

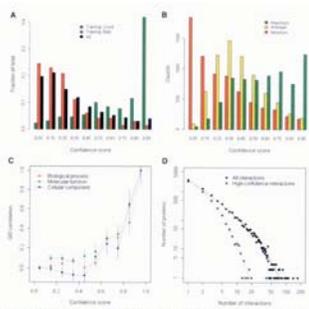


Fig. 6.14: MID-S (S-S-S-S): Cuatro imágenes simples

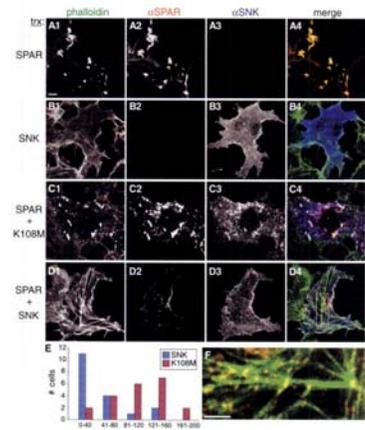


Fig. 6.15: MID-nS (AI-S-S): Aglutinado de dieciseis imágenes y dos imágenes simples

Al clasificar todos los conjuntos ilustrativos contenidos en los artículos impresos llegamos a la distribución siguiente (Cuadro 6.3):

Cuadro 6.3: Clases de conjuntos ilustrativos en los 102 artículos

SID-S	SID-nS	MID-S	MID-nS
15 %	5%	35%	45%

Se percibe una alta densidad de componentes en los conjuntos ilustrativos, ya que el 80% de los conjuntos ilustrativos contiene 2 o más imágenes y solamente un 15% se forma por una sola imagen simple.

6.2 Análisis cualitativo

6.2.1 Clasificación de los artículos

Las revistas *Science* y *Nature* cuentan con una clasificación por especialidades para los artículos que publican, sin embargo en *Nature* ésta no es visible para el lector, ya que no aparece en el texto publicado en su versión electrónica, como es el caso de *Science*. No obstante, tampoco la clasificación de los artículos en *Science* es de gran utilidad por presentar algunas inconsistencias en su aplicación. Por la razón antes expuesta se tomó como base las ramas de las ciencias biológicas que fueron expuestas en el capítulo 3 (véase también el Anexo 9.4).

Hubo ningún problema en clasificar los artículos pertenecientes a las neurociencias, la paleontología y la antropología física que se distinguen claramente en sus temas abordados. Así también los artículos que reportaban investigaciones del campo de la virología, la inmunología y de la medicina fueron fáciles de determinar. En los demás artículos las fronteras no son tan claras debido a la interdisciplinariedad de las investigaciones y la falta de fronteras absolutas entre las diferentes especialidades disciplinarias de las ciencias biológicas.

La distribución de las diferentes especialidades con sus correspondientes enfoques metodológicos en la muestra de artículos, se presentó de la siguiente manera (Cuadro 6.4):

Cuadro 6.4: Distribución de disciplinas y enfoques metodológicos por revista

Disciplina	<i>Science</i>	<i>Nature</i>	Total artículos	Nat	Exp	Teo	Bioinf
ANA	0	0	0	0	0	0	0
ANT	1	0	1	1	0	0	0
BFIS	2	2	4	0	3	0	1
CEL	5	2	7	0	7	0	0
DES	0	5	5	0	5	0	0
EVO	0	3	3	0	1	2	0
MOL	4	6	10	0	8	0	2
BQ	11	15	26	0	25	0	1
BOT	0	0	0	0	0	0	0
ECO	1	2	3	0	2	1	0
FIS	0	0	0	0	0	0	0
GENE	4	5	9	0	9	0	0
GENO	6	7	13	0	1	2	10
INM	3	3	6	0	5	1	0
MIC	0	0	0	0	0	0	0
NEU	6	4	10	0	10	0	0
PAL	1	1	2	2	0	0	0
TAX	0	0	0	0	0	0	0
VIR	1	0	1	0	0	0	1
ZOO	0	0	0	0	0	0	0
[ATMOS]	1	1	2	0	2	0	0
Total	46	56	102	3	78	6	15

En la publicación de artículos, se registró un equilibrio en lo que se refiere a las especialidades cubiertas. La única diferencia significativa se presentó en el caso de *Nature* que publicó artículos de biología evolutiva y de desarrollo. En la muestra no se encontró ningún artículo perteneciente a la botánica, la anatomía, la fisiología, la taxonomía y la zoología, como tampoco fue clasificado algún artículo como microbiología, lo que puede tener su causa en la publicación de temas de actualidad y de investigaciones de frontera que prefieren las revistas en cuestión. Entre las disciplinas que predominan tiene su lugar primero y sin competencia la bioquímica.

El 78% de los artículos reporta investigaciones con un enfoque metodológico experimental que demuestra su predominio absoluto. El método bioinformático representa un 15% y lo registramos en el 77% de las investigaciones genómicas, pero también lo aplican en hay dos artículos de biología molecular, uno de bioquímica, uno de biofísica y otro de virología. El enfoque naturalista (o descriptivo) se aplica en solamente el 3% de las investigaciones, pero todos los artículos corresponden a investigaciones del área de la paleontología y de la antropología. El enfoque teórico tiene poca presencia aún (6%) y se encuentra en dos artículos de biología de la evolución, uno de inmunología, dos de genómica y uno de ecología.

Ya teniendo la primera clasificación de los artículos, es pertinente regresar a los casos extremos que se perfilaron en el análisis cuantitativo en cuanto cantidades de conjuntos ilustrativos y porcentajes de texto frente a las ilustraciones, sin tomar en cuenta los cuadros que en general no mostraron una correlación significativa con los dos principales componentes antes mencionados.

Son dos los artículos que en todos los valores mínimos relacionados con las ilustraciones ocupan los primeros lugares (véase Cuadro 6.5). Contienen únicamente un conjunto ilustrativo simple, es decir, de una sola imagen y al mismo tiempo presentan los porcentajes mínimos de la muestra en relación a los espacios ocupados por los conjuntos ilustrativos (4 % y 5%), fenómeno que se repite en los porcentajes destinados a las imágenes sin leyenda (2% y 3%). Ambos artículos corresponden a investigaciones en el área de las ciencias

atmosféricas. Su función de control se cumplió ya que presentan comportamientos divergentes del conjunto de la muestra, mientras los dos artículos de medicina no se comportan diferente al conjunto. Para saber si estos cuatro artículos son realmente representativos para su campo o el tema específico, sería necesario realizar estudios más amplios, ya que “un grupo de control” en estricto sentido, debe tener un tamaño adecuado al grupo experimental en su conjunto.

Con alguna distancia sigue en la lista de los extremos el artículo 88, situación que se explica por un alto porcentaje de cuadros (20%) que se supone a costa del espacio ocupado por las ilustraciones.

Cuadro 6.5: Artículos con valores mínimos en relación a las ilustraciones

ARTICULO (# Disciplina Enfoque)	CI % min	IMA % min	CI # min
73 ATM exp	4	2	1
1 ATM exp	5	3	1
88 GENE bioinf	11	9	2

En el otro extremo (Cuadro 6.6), él de los valores máximos, no se deja percibir regularidad alguna. Los cuatro artículos que presentan el mayor porcentaje dedicado a ilustraciones e imágenes corresponden a especialidades distintas (neurociencias, genómica, paleontología y antropología) y cubren todas las posibilidades de enfoques metodológicos, menos el teórico. El caso del artículo 66 destaca únicamente por el máximo valor en la cantidad de conjuntos ilustrativos que, sin embargo, no influye en el espacio ocupado por ellas. Nuevamente,

encontramos que este artículo cuenta con un porcentaje alto del espacio ocupado por cuadros (12%).

Cuadro 6.6: Artículos con valores máximos en relación a las ilustraciones

ARTICULO (# Disciplina Enfoque)	CI % max	IMA % max	CI # max
102 NEU exp	64	51	(Solo 6)
45 GENO bioinf	58	55	(Solo 4)
4 PAL nat	58	52	(Solo 3)
100 GENO bioinf	56	50	(Solo 5)
66 ANT nat	(solo 38)	(solo 33)	11

6.2.2 Clasificación de las ilustraciones

6.2.2.1 Ajustes a la tipología

La aplicación de la clasificación desarrollada en el capítulo 5 a la muestra de artículos científicos obligó a llevar a cabo algunas adaptaciones, ya que en la implementación de toda tipología, se encontraron casos cuya clasificación constituyó todo un reto. Sin embargo, aparejado a las dificultades, también surgieron sorpresas.

Normalmente, los cuadros incluidos en los artículos se presentan bajo una numeración por separado de las “figuras” y, en general, es lo que ocurre en los artículos de la muestra. Sin embargo, en siete artículos se encontraron cuadros o listas de presentación tabular (Figura 6.16). Nunca se presentaron solos, sino como un componente de un conjunto ilustrativo más amplio. Para contar la ocurrencia de este tipo de información, se consideró agregar una categoría **O (NO IMAGEN / NO GRAFICACION)** que, por un lado, contempla textos tanto lineales

como tabulares (0a)⁴, y por el otro, textos correspondientes al lenguaje formal (0b).

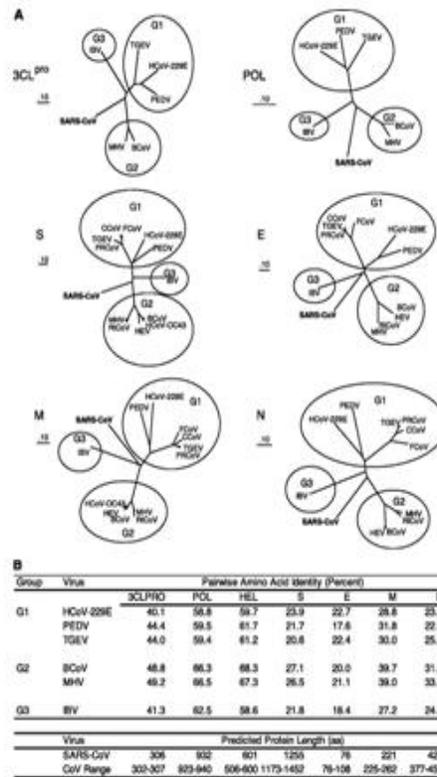


Fig. 6.16: Cuadro en conjunto ilustrativo

Otro caso inesperado fue la aparición de imágenes abstractas, es decir, imágenes que no son representacionales y donde solamente importa su composición, su textura y su impacto visual (Figura 6.17). Aunque se trata de un caso excepcional, ya que sólo en un artículo del área de las neurociencias que investiga la visión se incluyeron imágenes de este tipo, se consideró pertinente abrir la categoría **IV (IMÁGENES ABSTRACTAS)**.

⁴ Aunque con incidencia mínima, este hallazgo confirma la pertinencia de incluir los cuadros como

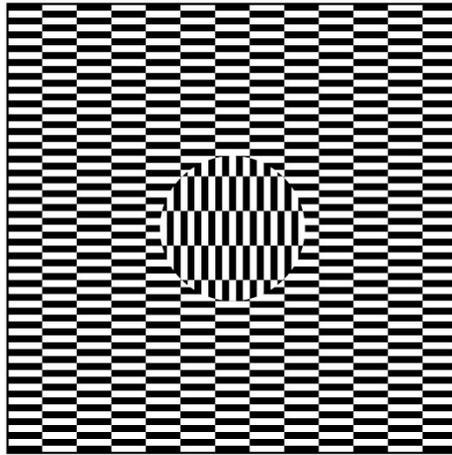


Fig. 6.17: Diseño gráfico donde al fijar la vista el centro parece moverse

En cuanto a imágenes realistas se encontraron, por un lado, sobre todo fotografías (1a) en su mayoría a color (Figura 6.18) y, por el otro lado, predominantemente fotomicrografías (1b) a color que en pocas ocasiones vienen solas y frecuentemente se aglutinan como se ve en la Figura 6.19.



Fig. 6.18: Fotografía a color

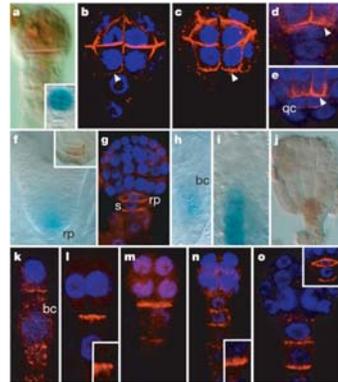


Fig. 6.19: Fotomicrografías a color

Algunas fotomicrografías son producto de un proceso computacional llamado *merge*, es decir se funden dos o más imágenes y se codifican en color ciertas características que tienen en común, como se puede ver en la figura 6.20:

lo habían considerado Lohse y Walker, *op. cit.*

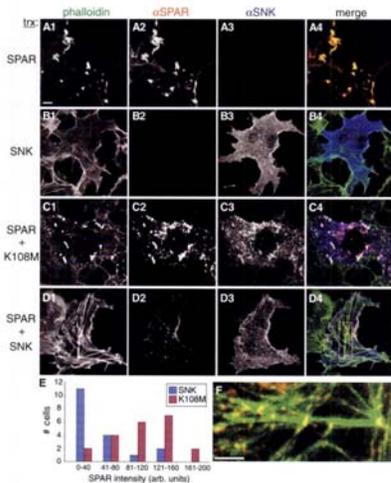


Fig. 3. SNK inhibits SPAR-mediated reorganization of actin cytoskeleton. COS cells were transfected with (A) myc-tagged SPAR alone, (B) hemagglutinin (HA)-tagged SNK alone, (C) myc-SPAR and HA-SNK(K108M), and (D) myc-SPAR and HA-SNK. Cells were immunostained with myc and HA antibodies and counterstained 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. 6.20: Fotomicrográficas a color producto de *merge* (última columna)

Con menor frecuencia se presentaron dibujos realistas como el del dinosaurio en la Figura 6.21:

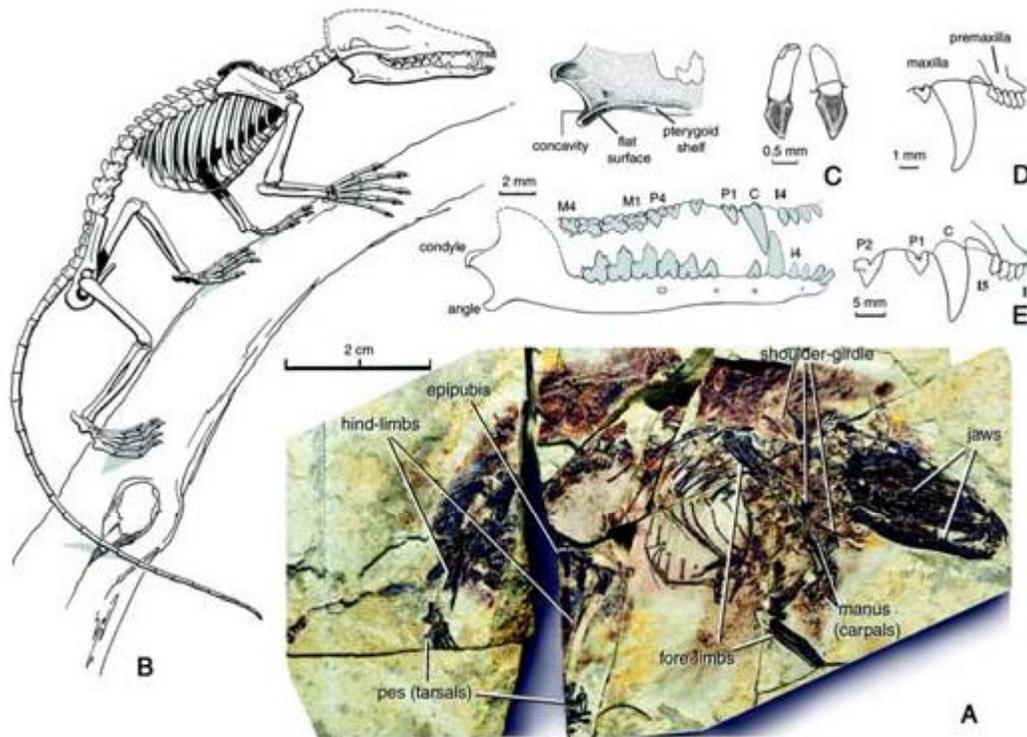


Fig. 6.21: Dibujo realista de un esqueleto de dinosaurio

Se presentaron algunos casos raros de dibujos en artículos del área de las neurociencias, donde destacan los dibujos hechos sobre proyecciones producidos con cámara lúcida (Figura 6.22). Este tipo de dibujos se consideraron registros del tipo **la**.

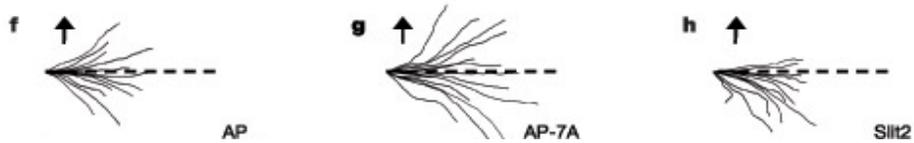


Fig 6.22: Proyecciones con cámara lúcida

En cuanto a imágenes análogas, se encontraron gran cantidad de estructuras moleculares (**IIa**) en todas sus variantes de representación (*ribbon, stick, spacefill*), en su gran mayoría a color (Figura 6.23), así como algunos modelos análogos esquemáticos (**IIb1**) (Figura 6.24).

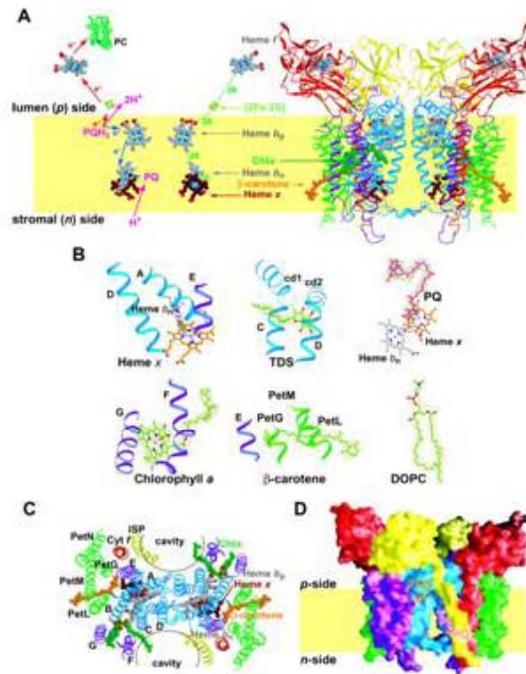


Fig. 6.23: Modelos moleculares

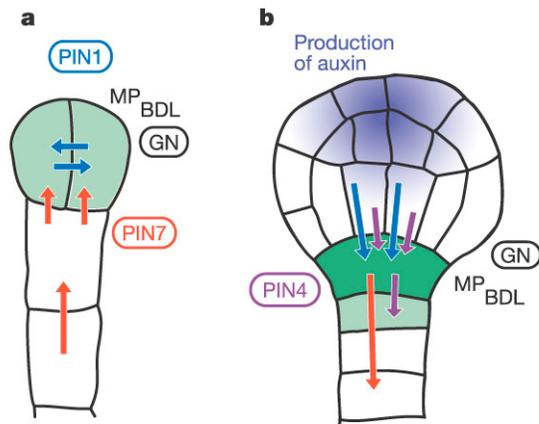


Fig. 6.24: Diagrama análogo

En cuanto a los mapas geográficos (**IIb2**) solamente se registraron tres en un solo artículo de antropología física en donde se presenta la ubicación de las excavaciones (Figura 6.25).

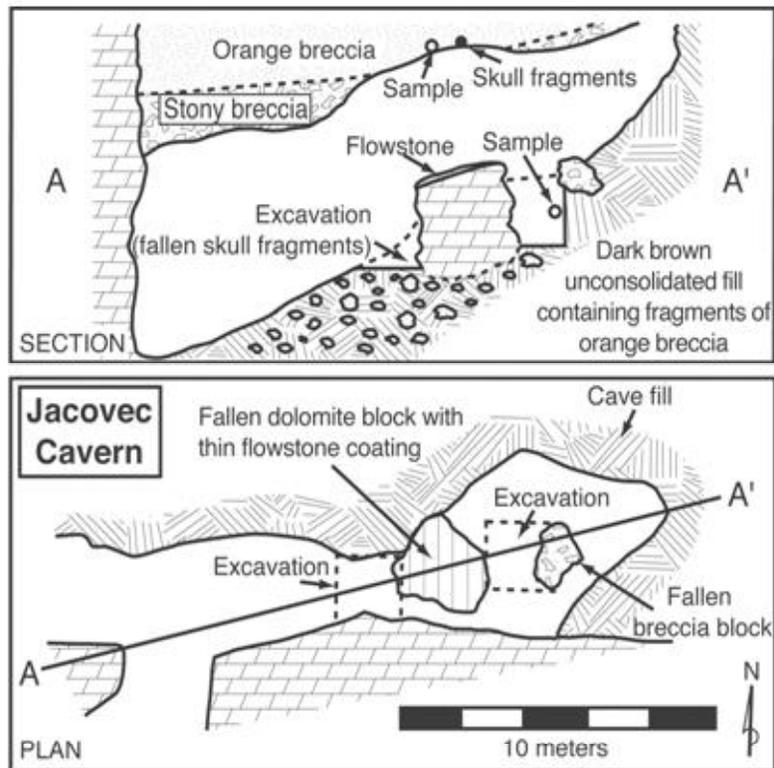


Fig. 6.25: Mapas

Entre los registros sensoriales se encontraron graficaciones de la actividad cerebral (**IIIa**) en muchos artículos del área de las neurociencias (Figura 6.26). Son mayoritariamente en blanco y negro, se aglutinan varias líneas y en ocasiones se presentan registros promediados que produce el mismo dispositivo. Pero también aparecieron imágenes -muchos aglutinados- producidas en los experimentos mismos como son, sobre todo, los electroforesis en gel (Figura 6.27). Para este tipo de representaciones se tuvo que idear una nueva categoría, la de los registros pictóricos de datos experimentales (**IIIa2**).⁵ Podría alegarse que son fotografías, pero nunca se ve el aparato, algún marco o contexto, sino únicamente la imagen normalizada de los datos recogidos. Por lo tanto los consideramos como imágenes lógicas, es decir, no realistas, pero tampoco productos de una graficación.

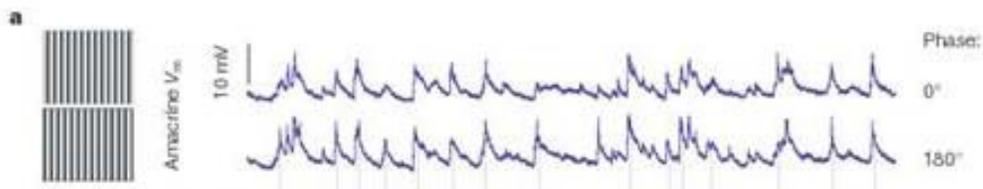


Fig. 6.26: Registros de actividad cerebral

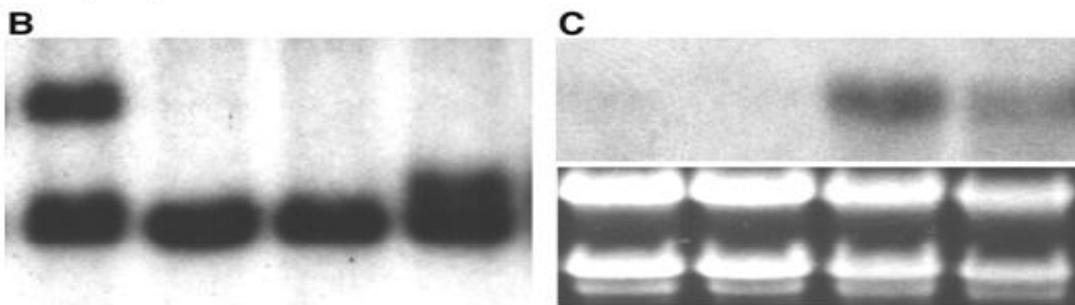


Fig. 6.27: Electroforesis

⁵ Los registros de datos sensoriales se convierten en **IIIa1**.

En el caso de las graficaciones presentacionales (**IIIb**) se encontraron sobre todo formatos tradicionales como gráficos de líneas, de barras, de dispersión y de sección (Figura 6.28).

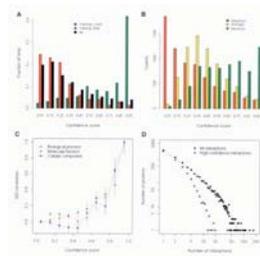


Fig. 6.28: Graficaciones presentacionales

Entre las visualizaciones computacionales (**IIIc**) proliferan los dendrogramas⁶ (en específico, los árboles filogenéticos), un tipo de visualización computacional que representa relaciones basadas en la cercanía o similitud entre los datos (Figura 6.29), así como *heatmaps* a color (Figura 6.30). En menor medida se registraron otras visualizaciones en forma de *dotplots* (Figura 6.31), *rasterplots* o mapas relacionales o redes (Figura 6.32).

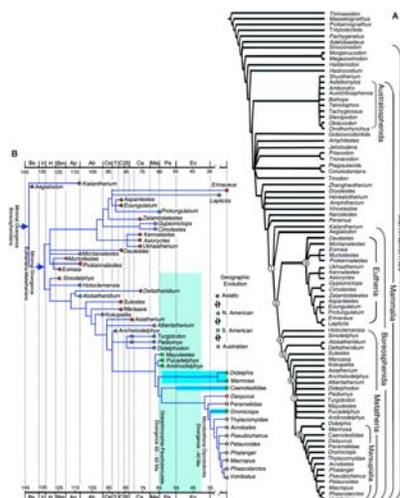


Fig. 6.29: Árboles filogenéticos

⁶ Sólo muy pocos dendrogramas utilizan color, sobre todo para señalar regiones específicas.

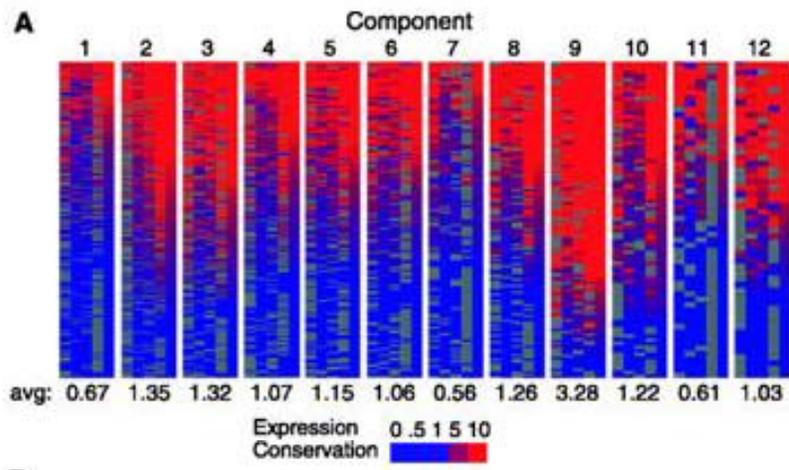


Fig. 6.30: Heatmap

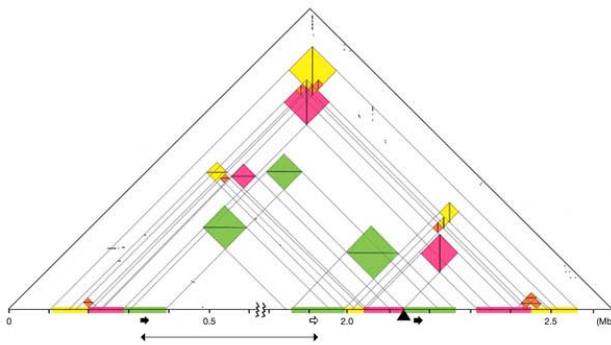


Fig. 6.31: Triangular dotplot

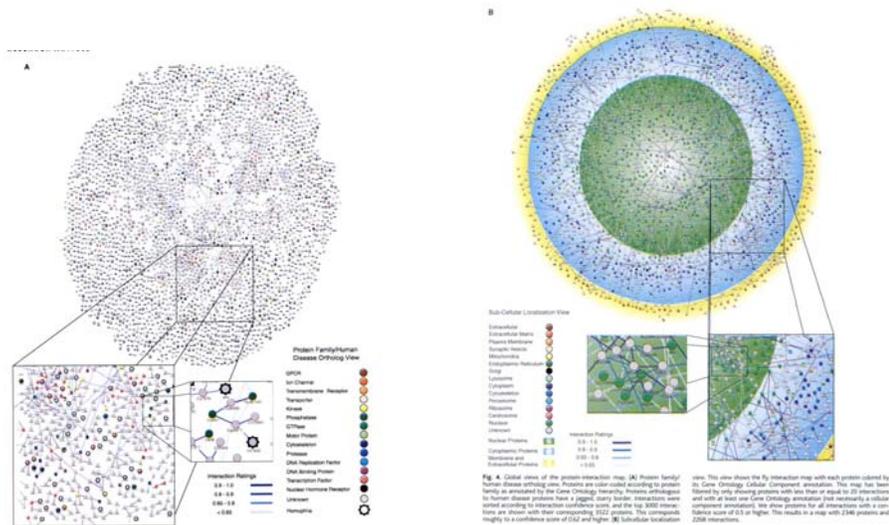


Fig. 6.32: Mapa relacional

Hay una ilustración (Figura 6.33) que no se deja clasificar fácilmente porque incita la duda sobre si realmente se asemeja a las visualizaciones anteriormente descritas. Nos recuerda más bien a los fractales y los autómatas celulares producidos en el área de las matemáticas. En realidad, más que graficaciones son imágenes digitales sin referente físico-espacial. Para poder distinguir este tipo de visualizaciones se tomó la decisión de abrir una nueva subcategoría de ilustraciones resultantes de la llamada visualización de procesos algorítmicos (**IIIc2**)⁷, visualización poco frecuente aún en las ciencias biológicas, en contraste con las ciencias físico-matemáticas de donde se toma la impactante visualización de la dinámica de un sistema producida por el físico alemán Mario Markus (Figura 6.34).

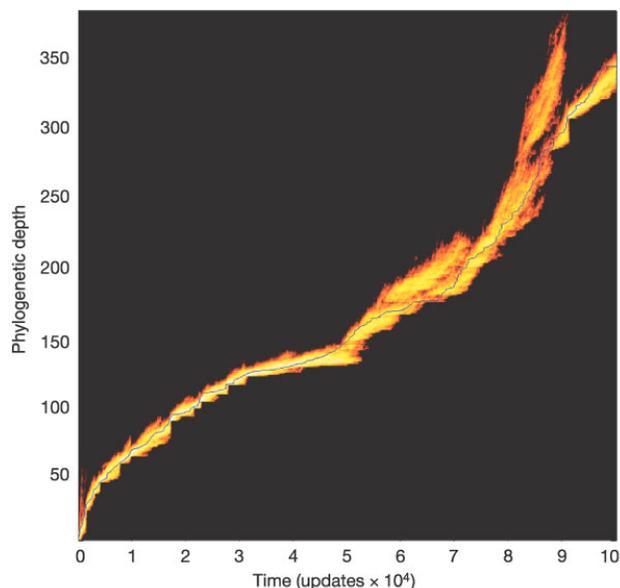


Fig. 6.33: Visualización de procesos algorítmicos

⁷ La visualización computacional se convierte en categoría **IIIc1**.

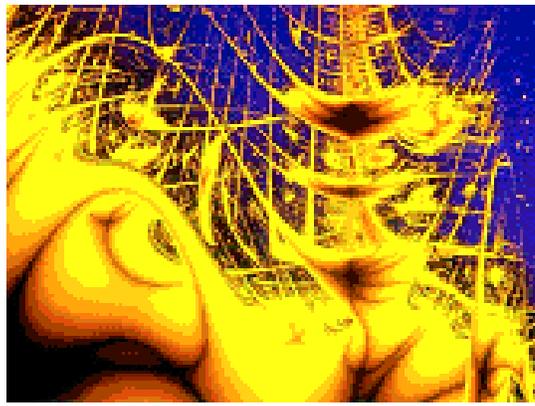


Fig. 6.34: Representación de los exponentes de Liapunov de la dinámica de un sistema

Entre los diagramas lógicos (**IIId**) se encontraron algunos modelos lógicos (Figura 6.35) y sobre todo diagramas de procesos tradicionales (Figura 6.36), así como representaciones de estructuras químicas (Figura 6.37).

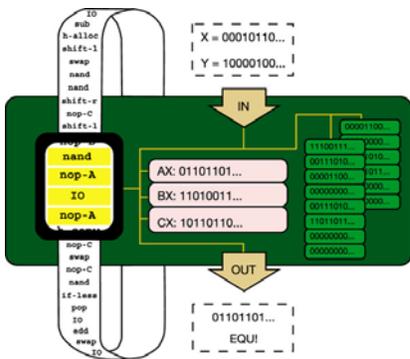


Fig. 6.35: Diagrama lógico

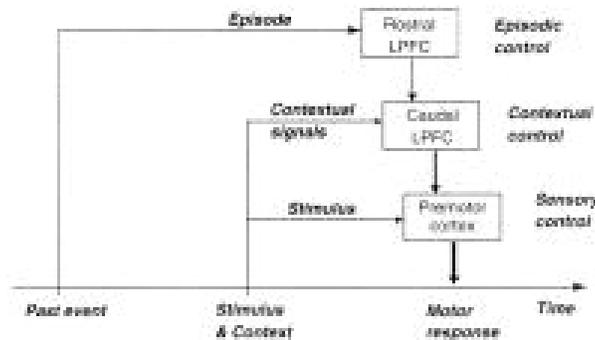


Fig. 6.36: Diagrama de proceso



Fig. 6.37: Estructura química

Pero un gran desafío para la clasificación fueron las representaciones basadas en la información genética:

Las secuencias de aminoácidos o nucleótidos usan letras, pero no son texto en sentido estricto (Figuras 6.38 y 6.39). Se ideó una nueva categoría, la de semigráficos (**IIIe**), donde también caben los cuadros gráficos (Figura 6.40) que Lohse y Walker⁸ ya habían considerado y otros textos de presentación gráfica. Las secuencias completas obviamente no se publican en los artículos, pero en algunos casos se anexan en archivos en los suplementos electrónicos. Si entran en los artículos es para mostrar alguna particularidad en alguna región o para compararla con otra.

Synthetic miR-23
5'-AUCACAUUGCCAGGGAUUCCA-3'
Synthetic mutant miR-23
5'-AUGUCAUUGGGAGGGAUUAGCA-3'

Fig. 6.38: Secuencias de nucleótidos

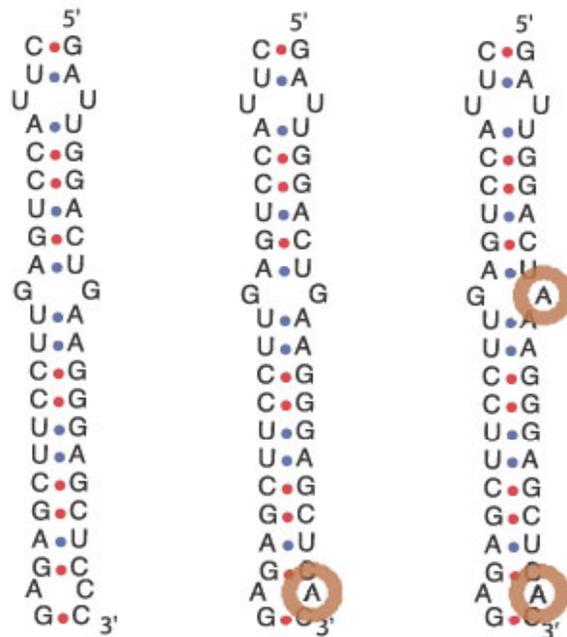


Fig. 6.39: Secuencias de nucleótidos

⁸ Lohse, Gerald Lee y Neff Walker, "Classifying graphical knowledge", en *Encyclopedia of Library and Information Science*, vol. 53, Supplement 16, New York: Marcel Dekker, 1993, p. 48.



Fig. 6.40: Cuadro gráfico

Las alineaciones de secuencias de aminoácidos o de nucleótidos (Figura 6.41), por el contrario, son visualizaciones computacionales (**IIIc1**) dado que son producto del procesamiento computacional que busca similitudes entre diferentes secuencias y frecuentemente las señala gráficamente enmarcándolas o aplicando la escala de grises o de colores o presentándolas de manera totalmente gráfica (Figura 6.42).

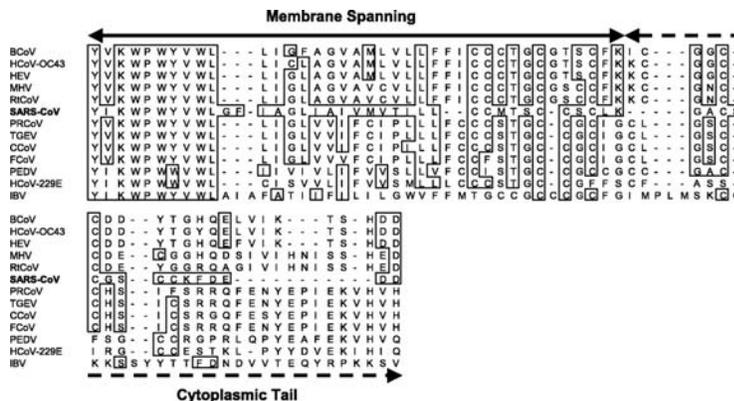


Fig. 6.41: Alineación de secuencias de aminoácidos

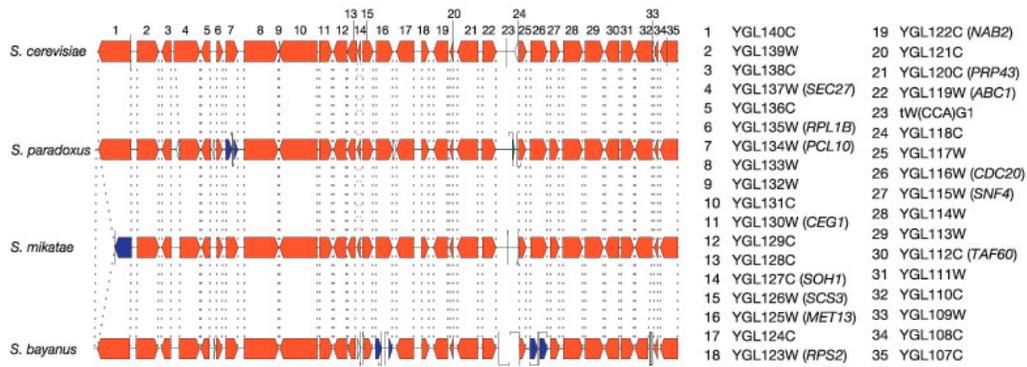


Fig. 6.42: Alineación de secuencias de aminoácidos

Para los mapas génicos (Figura 6.43), no importando la escala en que se presenten, se creó la categoría de mapas lógicos (**lild2**)⁹. Presentan de manera lineal lo que en realidad no lo es (doble hélice o nucleosomas). Por esta razón se podría hablar de una analogía con la realidad parecida a los *mapas mundi*, pero hay mucho más información presentada lógicamente que predomina.

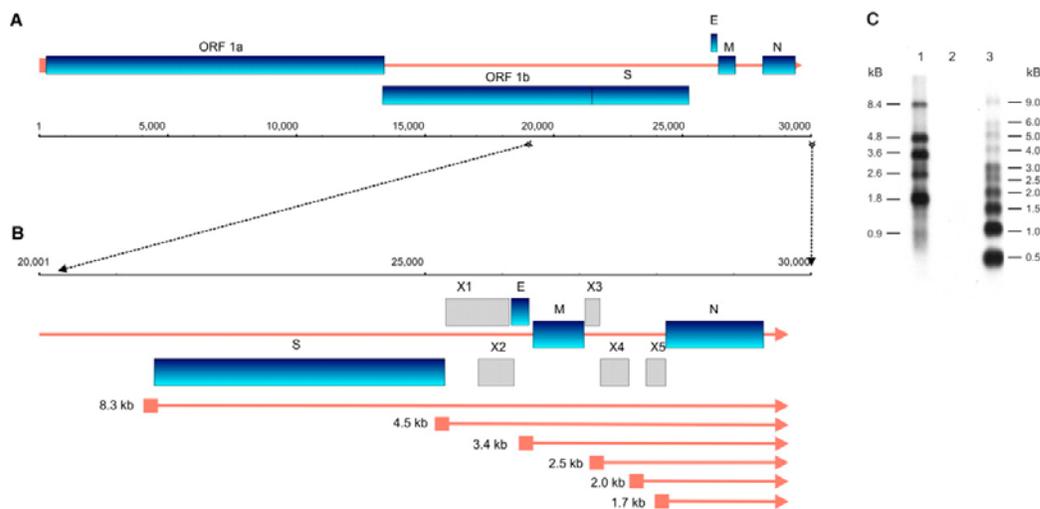


Fig. 6.43: Mapa génico

⁹ Los diagramas lógicos se convierten así en **lild1**.

Sin embargo, se encontraron también formas híbridas como los frecuentemente gigantescos *overviews* génicos (Figura 6.44) que parten de un mapa génico y alinean la demás información como registros, graficaciones y visualizaciones computacionales constituyendo una unidad visual o los *overviews* de cromosomas (Figuras 6.45 y 6.46), que al igual podrían ser consideradas como visualizaciones computacionales (**IIIc1**).

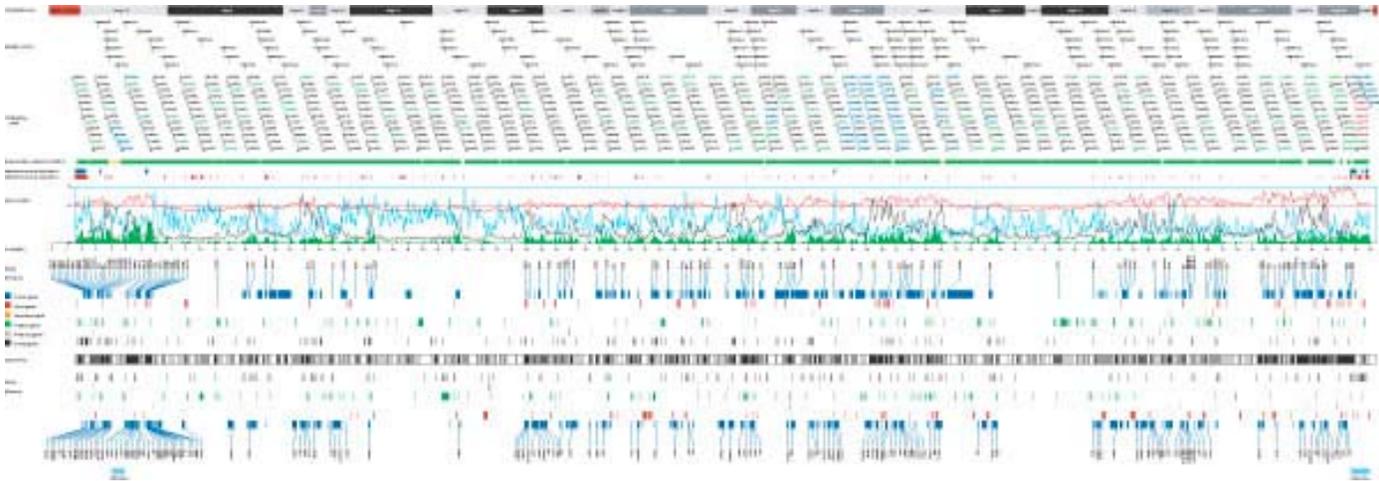


Fig. 6.44: *Overview* génico

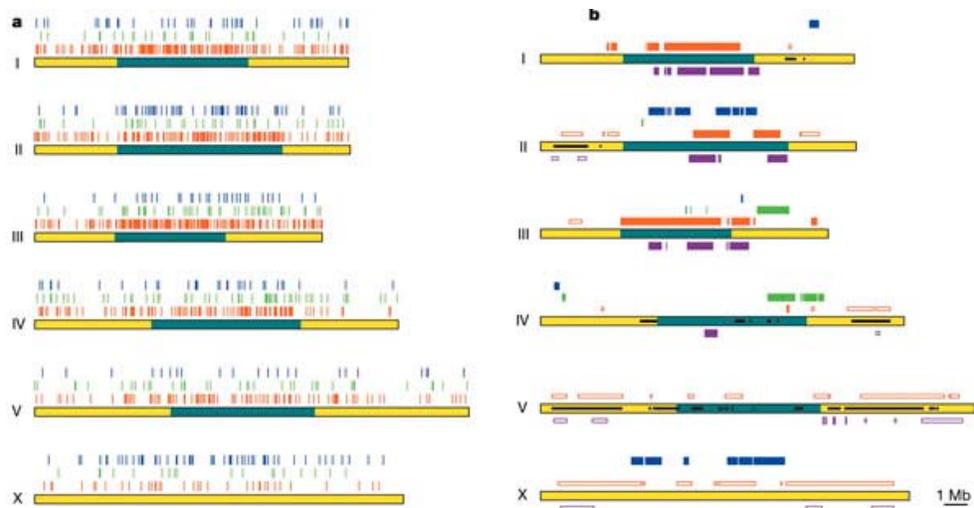


Fig. 6.45: Overview de cromosomas

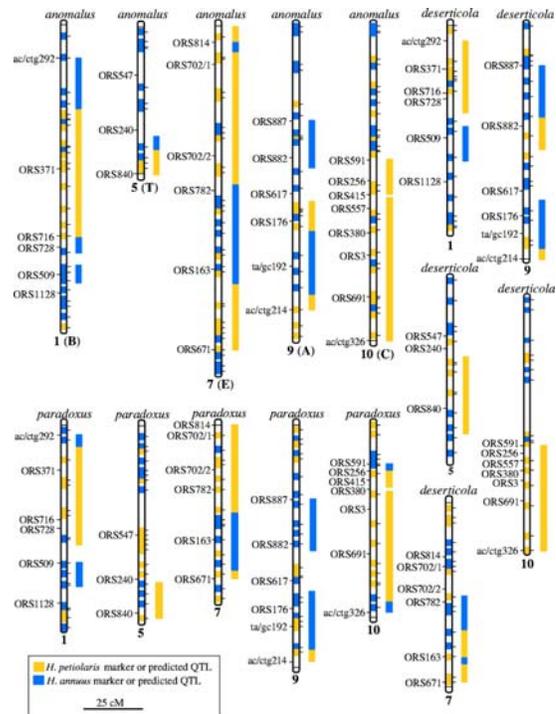


Fig. 6.46: Overview de cromosomas

A partir de esta experiencia de clasificación de las imágenes contenidas en 510 conjuntos ilustrativos, ponemos a discusión la tipología resultante que se especifica a continuación:

TIPOLOGIA DE ILUSTRACIONES II

0. NO IMAGEN/NO GRAFICACION (*Texto*)

0a. Lenguaje natural

0b. Lenguaje formal

I. REALISTAS

Ia. Registro pictórico de objetos o fenómenos naturales visibles para el ojo humano (*Imagen pictórica figurativa*)

Ib. Registro pictórico de objetos o fenómenos naturales invisibles para el ojo humano (*Imagen pictórica figurativa*)

II. ANÁLOGAS

IIa. Presentación pictórica de conceptos, ideas y modelos (*Imagen pictórica figurativa*)

IIb. Presentación diagramatical análoga de objetos o fenómenos naturales

IIb1. Diagramas análogos (*Diagrama análogo*)

IIb2. Representaciones geográficas (*Mapa análogo*)

III. LÓGICAS

IIIa. Registro de datos sensoriales y experimentales

IIIa1. Registro gráfico de datos sensoriales (*Graficación de datos sensoriales*)

IIIa2. Registro pictórico de datos experimentales (*Imagen pictórica no figurativa*)

IIIb. Presentación gráfica de conjuntos de datos
(*Graficación presentacional*)

IIIc. Visualización computacional de datos multivariados, de grandes cantidades de información y de procesos algorítmicos

IIIc1. Visualización computacional de datos multivariados y de grandes cantidades de información (*Graficación de visualización computacional*)

IIIc2. Visualización computacional de procesos algorítmicos (*Imagen pictórica figurativa y no figurativa*)

IIId. Presentación lógica de relaciones, estructuras y procesos

IIId1. Diagramas lógicos (*Diagrama lógico*)

IIId2. Mapas lógicos (*Mapa lógico*)

IIIe. Presentación gráfica de texto y cuadros (*Semigráfico*)

IV. ABSTRACTAS (*Imagen pictórica no figurativa*)

6.2.2.2 Distribución de los tipos encontrados

La distribución de los diferentes tipos contenidos en los 510 conjuntos ilustrativos se aprecia en el siguiente cuadro:

Cuadro 6.7: Distribución de tipos de ilustraciones

TIPOS	Total	%	FORMATOS	Total
Ia	125	3.3	<ul style="list-style-type: none"> • Fotografías • Dibujos • Proyección de cámara lúcida 	76 45 4
Ib	1196	31.5	<ul style="list-style-type: none"> • Fotomicrografías • Tomografías computarizadas 	1194 2
IIa	268	7.0	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras moleculares 	268
IIb1	32	0.8	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas análogos varios 	32
IIb2	3	0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas 	3
IIIa1	250	6.6	<ul style="list-style-type: none"> • Registros varios • Quimografías 	243 7
IIIa2	618	16.2	<ul style="list-style-type: none"> • Electroforésis • Cajas de Petry 	608 10
IIIb	671	17.7	<ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de líneas • Gráfico de barras • Otros 	671
IIIc1	161	4.2	<ul style="list-style-type: none"> • Dendrogramas • Heatmaps • Redes • Plots varios • Alineaciones 	35 51 25 25 25
IIIc2	1	0.0	<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes calculadas 	1
IIId1	63	1.6	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas lógicos varios • Estructuras químicas 	57 6
IIId2	77	2.1	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas lógicos génicos 	77
IIIe	18	0.5	<ul style="list-style-type: none"> • Secuencias • Cuadros gráficos 	15 3
IV	26	0.7	<ul style="list-style-type: none"> • Diseños gráficos 	26
0a	7	0.2	<ul style="list-style-type: none"> • Cuadros 	7
HIBRIDOS	285	7.5	<ul style="list-style-type: none"> • Overviews génicos 	285
TOTALES	3801	100.0		3801

El primer lugar en cantidad lo ocupan, sin competencia, los registros pictóricos de objetos o fenómenos naturales invisibles para el ojo humano (**Ib**) con el 31.5%. Son casi todas fotomicrografías las que constituyen casi la tercera parte del total de las 3801 imágenes que fueron clasificadas. Las fotomicrografías se presentan pocas veces solas y muchos componentes compuestos sirven a la comparación entre varias imágenes donde también aparecen las fotomicrografías productos del *merge*. También hay un fenómeno de densificación al incluir en una imagen otra de un detalle de la misma en otra escala, y que en el ambiente digital se denomina *high-magnification*.

En segundo lugar, con el 17.7% tenemos las graficaciones presentacionales de conjuntos de datos (**IIIb**). Hay que mencionar que en el cuadro 6.7 están de alguna manera subrepresentadas porque no se contaron las variables por separado (por ejemplo, en el caso de las gráficas de líneas sería la cantidad de líneas), como tampoco se contaron los objetos representados en una fotografía, mientras en el caso de los aglomerados de electroforésis o de registros gráficos, se contaron los elementos particulares que se comparan en este tipo de ilustraciones. La razón de esta discrepancia radica en el hecho de que en el caso de los aglutinados, éstos se componen de varias imágenes o registros que fueron producidos por separado y juntados posteriormente para integrar una unidad visual y, por esta razón, se clasifican como SID-nS.

El tercer lugar, con el 16.2%, lo ocupan los registros pictóricos de datos experimentales (**IIIa2**), casi todos electroforesis en gel que casi siempre vienen aglutinadas.

En el cuarto lugar (7.5%), encontramos el tipo híbrido de *los overviews* génicos que se componen de gran cantidad de elementos particulares. Si los juntamos con las visualizaciones computacionales, estas ilustraciones se acercarían en importancia cuantitativa a las gráficas presentacionales y las electroforesis.

En quinto lugar de ocurrencia (7.0%) están las estructuras moleculares que se presentan frecuentemente en su forma de *stereoviews*, es decir, dos imágenes idénticas salvo por una diferencia de unos cuantos grados de rotación alrededor de su eje vertical. Tal artificio permite que cuando se observan a una distancia pequeña con los ojos enfocando a la distancia, el efecto resultante es una imagen tridimensional. Siendo esta última imagen finalidad de la ilustración, los *stereoviews* de contaron como una sola imagen. Si se hubieran tomado en cuenta como dos imágenes, la ocurrencia del tipo (**IIa**) hubiera aumentado de consideración.

Los registros gráficos de datos sensoriales (**IIIa1**) ocupan el sexto lugar en la muestra con el 6.6%.

Solamente con una presencia del 3% en la muestra, se encuentran los registros pictóricos de objetos o fenómenos naturales visibles para el ojo humano (**Ia**) en

forma de fotografías y dibujos realistas. Los dibujos sobre proyecciones hechas por una cámara lúcida son realmente casos excepcionales.

Las demás ilustraciones tienen una presencia poco significativa en la muestra.

Analicemos nuevamente los casos extremos, ahora en lo que a los tamaños reales (en centímetros cuadrados) de las ilustraciones y sus tipos se refiere. Los casos de excepción frente a la gran mayoría de los conjuntos ilustrativos corresponden a cuatro *overviews* génicos (tres de ellos publicados en hojas plegables¹⁰) y un conjunto ilustrativo en dos partes que contiene mapas relacionales¹¹.

Cuadro 6.8: Conjuntos ilustrativos de gran tamaño

ARTICULO (# Disciplina Enfoque)	CONJUNTO ILUSTRATIVO	TAMAÑO cm2	TIPO	CLASE DE COMPONENTE
6 GENO bioinf	Fig. 1	1823	<i>Overview</i> gen	SID-nS (AD)
28 GENO bioinf	Fig. 2	1736	<i>Overview</i> gen	SID-nS (AD)
45 GENO bioinf	Fig. 2	1456	<i>Overview</i> gen	SID-nS (AD)
100 GENO bioinf	Fig. 4	846	Mapa relacional	MID-nS (CI CI)
33 GENO bioinf	Fig. 1	770	<i>Overview</i> gen	SID-nS (AD)

Los cinco conjuntos ilustrativos que se caracterizan por ser los de mayor tamaño real (Cuadro 6.8) en la muestra son del tipo de las visualizaciones computacionales (mayoritariamente híbridos) y corresponden todos a artículos de genómica con enfoque bioinformática. Dos de estos artículos (45 y 100) también

¹⁰ Se puede apreciar uno de ellos en la Figura 6.44.

¹¹ Se puede apreciar en la Figura 6.32.

son los que se encuentran entre los artículos de valores máximos¹² en lo que a las ilustraciones se refiere.

6.2.3 Relación entre texto e imagen

En cuanto a la relación de las ilustraciones con su texto, la cuantificación del texto frente a las imágenes es una tarea difícil, ya que es ambiguo determinar donde inicia y donde termina la alusión a una ilustración en un texto dado. Lo que sí es posible saber, es cuánto texto existe en la leyenda de los conjuntos ilustrativos para conocer algunas pautas acerca de la necesidad de tipos específicos para ser explicados en lo que a su contenido se refiere.

Entre las ilustraciones que dentro de los conjuntos ilustrativos parecen requerir de muy poca leyenda (Cuadro 6.9), encontramos nuevamente una gran cantidad de *overviews* (tres de ellos corresponden a aquellos grandes publicados en hojas desplegadas aparte del texto normal), redes y el mapa relacional de gran tamaño del mismo artículo, pero también un diagrama de procesos, un cuadro gráfico, un diagrama lógico y algunas fotografías. Destaca que en los casos de los artículos 6 (Fig. 1), 28 (Fig. 2), 45 (Fig. 2) y 100 (Fig. 2) coinciden con conjuntos ilustrativos de gran tamaño¹³.

¹² Véase Cuadro 6.5 en la página 150.

¹³ Véase Cuadro 6.8.

Cuadro 6.9: Conjuntos ilustrativos con porcentaje pequeño de leyenda

ARTICULO (# Disciplina Enfoque)	CONJUNTO ILUSTRATIVO	% LEYENDA	TIPO	CLASE DE COMPONENTE
45 GENO bioinf	Fig. 2	2	Overview gen	SID-nS (AD)
71 GENO bioinf	Fig. 2	4	Mapa lógico gen	SID-S
100 GENO bioinf	Fig. 5	4	Redes	MID-nS (S-S-S-S-S-CI)
6 GENO bioinf	Fig. 1	5	Overview gen	SID-nS (AD)
45 GENO bioinf	Fig. 1	5	Overview gen	SID-nS (AD)
67 GENO bioinf	Fig. 3	5	Overview gen	SID-nS (AD)
100 GENO bioinf	Fig. 4	5	Mapa relacional	MID-nS (CI-CI)
28 GENO bioinf	Fig. 2	6	Overview gen	SID-nS (AD)
96 NEU exp	Fig. 1	6	Diagr. procesos	SID-S
100 GENO bioinf	Fig. 1	6	Overview gen	SID-nS (AD)
66 ANT nat	Fig. 4	7	Fotografías	MID-S (S-S)
4 PAL nat	Fig. 2	8	Fotografías	MID-S (S-S-S-S-S-S-S-S-S)
25 BQ exp	Fig. 4	8	Estruc. molec.	MID-S (S-S-S)
28 GENO bioinf	Fig. 4	8	Cuadro gráfico	SID-S
67 GENO bioinf	Fig. 5	8	Overview gen	SID-nS

La mayoría de los casos del cuadro anterior corresponden a ilustraciones en artículos con enfoque bioinformático, en especial *overviews* génicos y redes, ilustraciones en las que llegan a confluir las características de tener un tamaño considerable y poca leyenda. Los demás casos no son tan concluyentes, ya que constituyen excepciones dentro de su tipo o son casos únicos en la muestra. En cuanto a los conjuntos ilustrativos con leyendas mayores al espacio ocupado por

imágenes, se presentaron casos muy variados y que no constituyen una base para la generalización (Cuadro 6.10):

Cuadro 6.10: Conjuntos ilustrativos con porcentaje grande de leyenda

ARTICULO # Disciplina Enfoque)	CONJUNTO ILUSTRATIVO	% LEYENDA	TIPO	CLASE DE COMPONENTE
66 ANT nat	Fig. 10	70	Dibujo realista	SID-S
86 MOL exp	Fig. 6	63	Esquema lógico	SID-S
62 INM exp	Fig. 3	55	Graficación pres	SID-nS (DI)
18 GENE bioinf	Fig. 4	54	Alineación gráfica	SID-nS
73 ATM exp	Fig. 1	53	Graficación pres	SID-S

Si una caracterización de la relación entre imagen y texto es difícil de establecer a partir de las proporciones de texto e imagen en un conjunto ilustrativo, aún más difícil es determinar cuál es la relación cualitativa en términos de dominancia, dependencia, redundancia o complementariedad en un texto determinado, ya que se puede suponer que estas características no son inherentes a los diferentes tipos de ilustraciones, sino trascienden a la categorías. Por ejemplo, una fotografía puede ser meramente decorativa (dependiente), apoyar un proceso de aprendizaje con una doble codificación del mensaje (redundante), constituir una representación del objeto principal del argumento del texto (dominante) o puede no corresponder al evento u objeto que se indica en el texto (discrepante y contradictoria). Para los textos como el artículo científico se puede suponer que generalmente no existan relaciones de discrepancia o contradicción entre texto e imagen, ya que se opone a la finalidad misma del tipo de texto que además pasó

por un estricto proceso de dictaminación, al menos de que se trate de un fraude científico. Tampoco se encontrarán imágenes decorativas sin una relación específica con el texto, ni con una función predominantemente didáctica.

Para analizar la relación ente texto e imagen en un artículo científico considero necesario recurrir la teoría de la recepción. Como se vio anteriormente, el tipo de lectura de la imagen puede variar en cada ilustración dependiendo de la profundidad de la lectura o el punto de partida: la imagen misma o desde una referencia en el texto que lleva a la imagen. Asimismo, influye naturalmente el conocimiento previo del lector, conocimiento que determina, por ejemplo para ilustraciones especializadas, si son realmente entendibles sin texto para ser consideradas imágenes dominantes.

Podemos concluir que no fue posible categorizar la relación texto-imagen en los términos de dominancia, dependencia y complementariedad por tipo de ilustración, ya que influyen en esta relación la no linealidad de la lectura del artículo científico, el propósito mismo de la lectura, los diferentes textos involucrados (leyenda, texto en el artículo y, en su caso, textos adicionales en un suplemento electrónico), el conocimiento previo del lector, así como las ayudas visuales que se incluyen en la imagen misma para guiar la interpretación o enfoca la atención como los llamados *visual cues* (flechas, asteriscos, etcétera). Solamente una investigación más minuciosa que tome en cuenta todo estos aspectos, podría arrojar luz sobre esta cuestión.

6.3 Análisis estadístico multivariado

Con las técnicas del análisis estadístico multivariado, y en particular con el análisis de cúmulos, se pueden hacer tanto estudios por variables como por objetos (renglones o columnas en la matriz de datos). En este trabajo las variables serán principalmente tanto los componentes del cuerpo como los tipos de ilustraciones y los objetos serán los artículos. Sin embargo, es conveniente aclarar que en algunos casos se pueden (y deben) invertir los papeles de las variables y los objetos, con la finalidad de explorar el peso informativo de las primeras.

Para todos los casos del presente estudio, se ha elegido como criterio de distancia entre objetos la distancia euclidiana por ser la más comúnmente empleada y fácil de entender. Por las mismas razones, se ha tomado como criterio de agrupamiento el promedio entre las distancias de los objetos. En todos los casos, salvo indicación en contrario, antes de calcular la matriz de distancias, los datos se normalizan sustrayendo la media de cada columna de datos y dividiendo entre la desviación estándar; esto se hace con la finalidad de evitar distorsiones debidas al uso de diferentes escalas.

6.3.1 Análisis sobre la composición de los artículos

El primer cálculo se hizo sobre los componentes del cuerpo: texto, cuadros, imágenes y leyendas tomados como objetos, siendo los artículos las variables. En la figura 6.47 se aprecian claramente dos grupos ajenos: el primero formado por

las variables texto y cuadros y, por otra parte, imágenes y leyendas. Es de notar que sobre la base de los datos de 102 artículos que se ha manejado, existe implícitamente la información que logra que, más allá de un umbral de similitud, las variables texto y cuadros se agrupen como una sola variable y lo mismo sucede con las imágenes y leyendas que constituyen el conjunto ilustrativo. Una conclusión interesante de este análisis es que el conjunto ilustrativo es una unidad coherente a pesar de sus particularidades en cada caso.

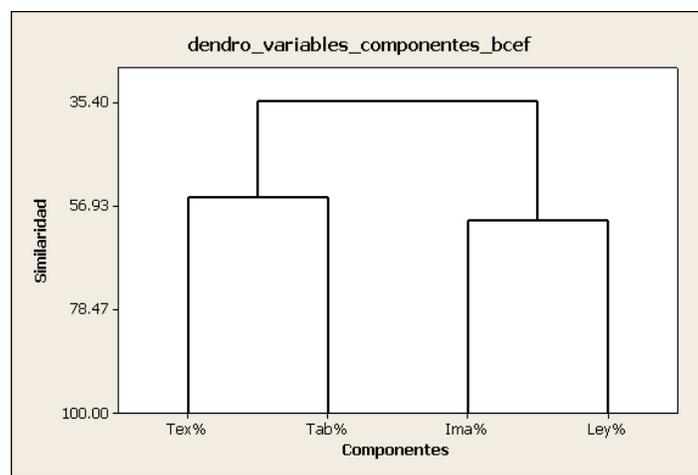


Fig. 6.47: Dendrograma de los 4 componentes del cuerpo de 102 artículos

Posteriormente, usando los porcentajes de texto, cuadros y conjuntos ilustrativos (imagen más leyenda) como variables y los artículos como objetos, se hizo otro análisis de cúmulos (Figura 6.48). Salta a la vista el comportamiento aislado de los objetos 41 y 73 (rama derecha del árbol) que corresponden a artículos de ecología teórica y de ciencias atmosféricas, respectivamente. Enseguida se observa un grupo a mayor nivel de similaridad, pero también alejado del conjunto, formado por los artículos 1 y 88, de ciencias atmosféricas y genética bioinformática, respectiva-

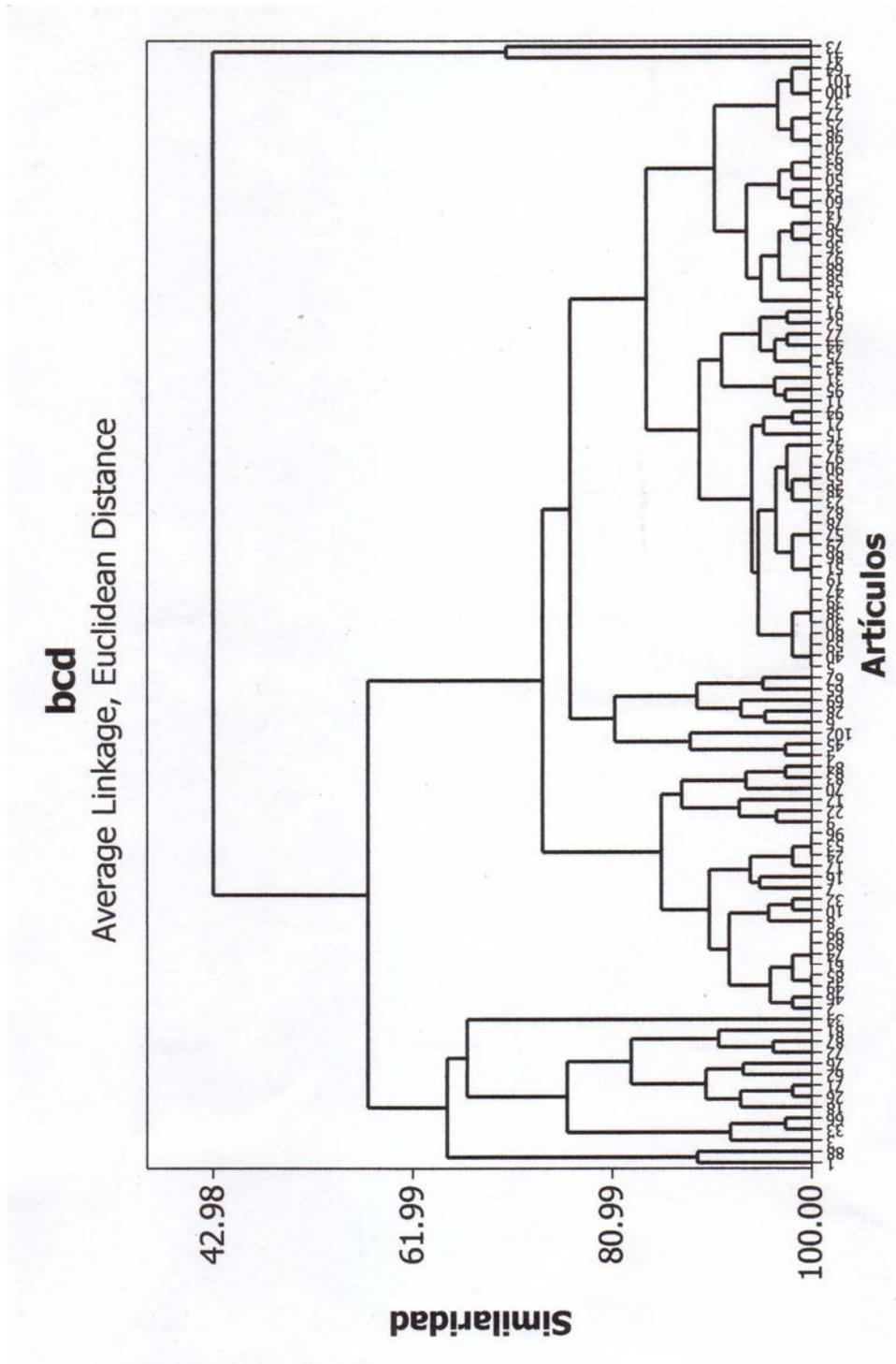


Fig. 6.48: Dendrograma de artículos en relación a la composición de sus cuerpos (3 variables: Texto, cuadros, conjuntos ilustrativos)

mente. Los cuatro artículos mencionados forman parte de aquellos con poca presencia de ilustraciones, correspondiendo dos de ellos (1 y 73) a los artículos de control. El artículo 88 se caracteriza por un porcentaje alto de cuadros (20%) a costa de los conjuntos ilustrativos (11%), mientras que el artículo 41 es totalmente atípico en la muestra ya que, aunque no contiene cuadros, sus tres conjuntos ilustrativos ocupan únicamente el 18% del cuerpo.

En la misma figura 6.48, se nota, al incrementar la similaridad, la presencia de dos cúmulos, ambos con buena congruencia interna y ajenos entre sí, uno de 12 elementos y el otro de 86. Todos los artículos del grupo de 12 elementos¹⁴ se caracterizan por su alto porcentaje de cuadros que va del 11% al 27%.

Al conjunto de variables del caso anterior se agregaron dos más: el número de conjuntos ilustrativos y el número de cuadros y se desglosaron los conjuntos ilustrativos en porcentajes de imágenes y leyendas. El dendrograma resultante se muestra en la figura 6.49. De manera parecida al caso anterior, hay un grupo muy separado constituido por los artículos 28 y el 66, el primero es de genética con metodología bioinformática y el segundo de antropología con metodología naturalista. Ambos artículos tienen en común un gran porcentaje de cuadros, pero simultáneamente tienen una gran cantidad de conjuntos ilustrativos.

¹⁴ Artículos 3, 18, 26, 33, 34, 62, 66, 71, 72, 76, 81 y 87.

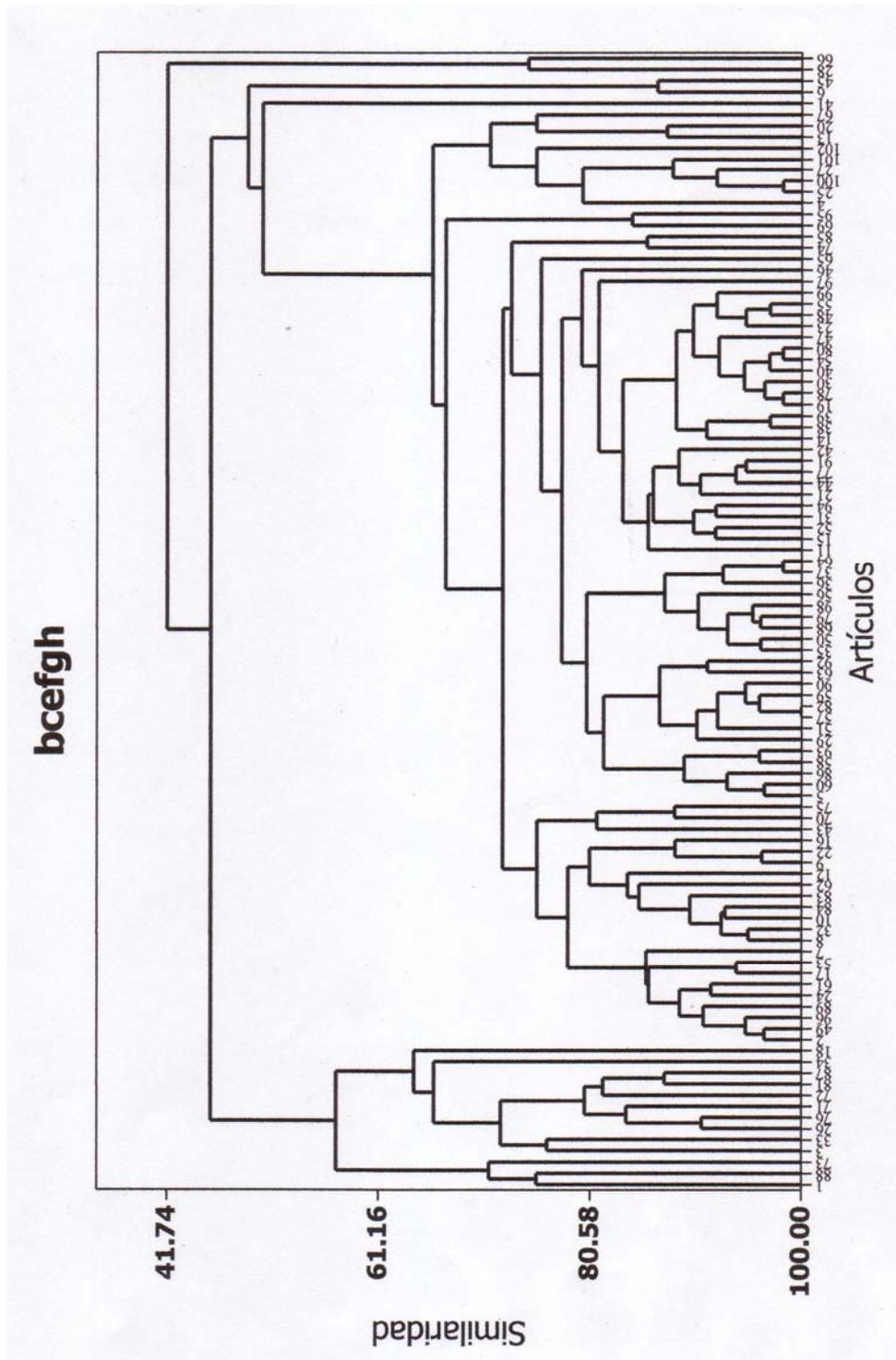


Fig. 6.49: Dendrograma de artículos en relación a la composición de sus cuerpos y cantidades de conjuntos ilustrativos y cuadros (6 variables)

Vecinos a ellos se encuentran los artículos 45 y el 6, ambos de genómica con métodos bioinformáticos. A diferencia de los anteriores, aquí se nota que los dos tienen un alto porcentaje de cuadros, pero también de conjuntos ilustrativos.

Por otra parte, el artículo 41, que en el análisis previo mostraba una conducta atípica, lo sigue haciendo. Esto sugiere que en este caso, la introducción de nuevas variables no basta para aglutinarlo con el resto.

Para finalizar esta subsección, podemos señalar que los artículos 1 y 88, que aparecían como aislados en la figura 6.48, también se encuentran aquí en la periferia. La estructura global de dos cúmulos, uno pequeño y uno grande de la figura anterior, se preserva. Hay que recordar que en este caso, se agregaron al anterior la cantidad de cuadros y conjuntos ilustrativos y su composición, lo que, no obstante, no alteró sustancialmente la topología del árbol de la figura 6.48.

La pareja de análisis que componen este apartado, nos permite llegar a la conclusión de que a la luz de las variables empleadas (textos, cuadros y conjuntos ilustrativos) existen, salvo los casos anómalos ya discutidos, dos grupos de artículos bien diferenciados en lo que respecta a su composición.

6.3.2 Análisis sobre los tipos como variables

Para conocer el comportamiento de las categorías de la tipología de ilustraciones científicas (Tipos O-IV) se realizó un análisis multivariado sin normalización que

emplea los 16 tipos propuestos en este trabajo¹⁵ como variables. En primer lugar, se tomó el conjunto de tipos y se agruparon, con el análisis de cúmulos por variables, entre sí según se muestra en la figura 6.50.

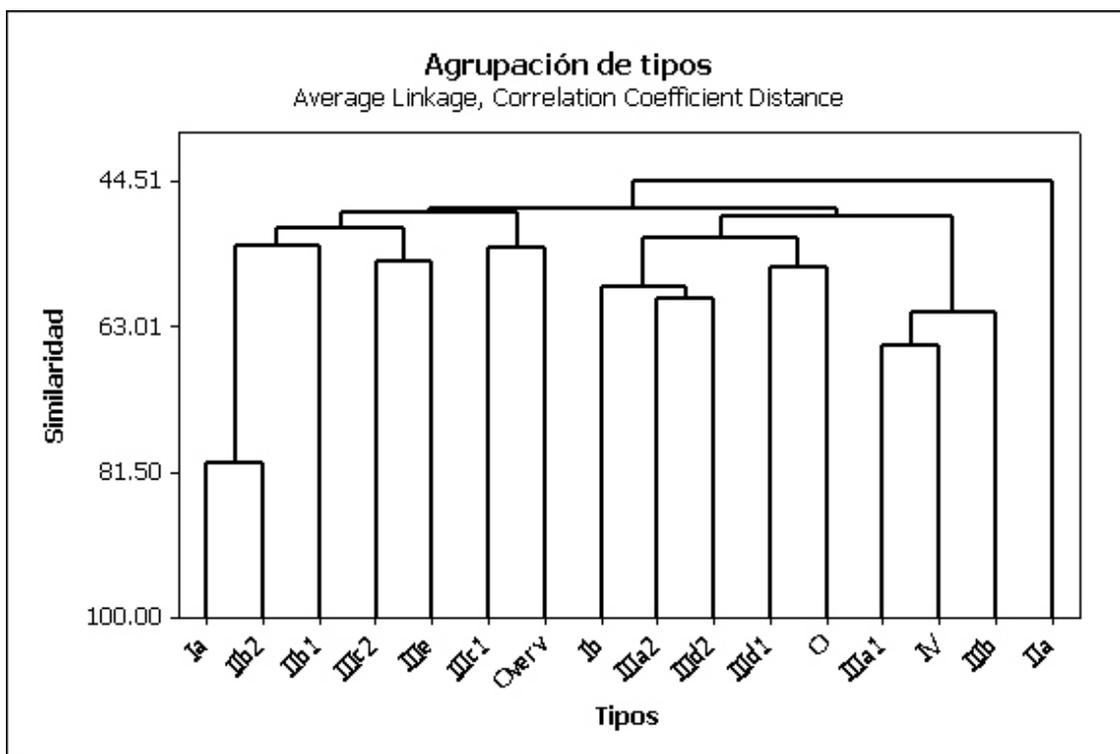


Fig. 6.50: Dendrograma de los tipos de ilustraciones

El árbol es notable pues exhibe como separado al tipo **IIa** (las estructuras moleculares). La conclusión es que este tipo es muy bueno –siempre en el universo de la tabla de datos- al menos por dos razones: primera, para diferenciar artículos y, segunda, pues no se asemeja a los otros tipos. Caso extremo opuesto lo constituyen los tipos **Ia** y **IIb2** cuyo alto índice de semejanza significa que no son muy independientes entre sí y que uno de los dos es supérfluo y eventualmente se podría prescindir de uno de los dos. Este hecho no es de extrañar, puesto que los

¹⁵ Véase Cuadro 6.7 en la página 168.

mapas (**IIb2**) son variables que están muy poco representadas en la muestra (al grado que aparece en únicamente un artículo). Sin embargo, el cúmulo formado por dichas variables una vez que se les agrega su vecina **IIb1**, son todos de los tipos de imágenes realistas y análogas de la tipología, con exclusión de las estructuras moleculares que defienden su particularidad absoluta. Otro hecho que llama la atención es que todas las visualizaciones computacionales forman un grupo relativamente compacto (salvo por las secuencias (**IIIe**), que es totalmente ajeno a otro grupo muy coherente que está formado por las micrografías (**Ib**), los registros de datos experimentales (**IIIa2**) y los mapas génicos (**IIIb2**). Por último, se unen las gráficas tradicionales (**IIIb**) con los registros de datos sensoriales que son, de alguna manera, gráficas de línea como también lo son una gran proporción entre las gráficas presentacionales. Por alguna razón, no se encuentran lejos de las imágenes abstractas (**IV**). Una posible explicación iría en el sentido de que las imágenes abstractas están en un solo artículo de neurociencias que, a su vez, lleva muchas ilustraciones de registros de datos sensoriales, lo que introduce una correlación positiva entre dichas variables por lo que su permanencia como variable con poder informativo se pone en cuestión.

El siguiente análisis multivariado (sin normalización) se realizó sobre las cantidades de los diferentes tipos de ilustraciones¹⁶, habiendo eliminado como consecuencia del análisis anterior (el de la figura 6.41) las variables **IIb1** (mapas), **IV** (imágenes abstractas) y también la **O** (cuadros, por no ser propiamente un tipo

¹⁶ Véase datos en el cuadro 6.7, p. 168.

de imagen), así como la única visualización matemática (**IIIc2**) de la muestra fue agregada a las visualizaciones computacionales (**IIIc1**). La figura 6.42 nos muestra una matriz de la densidad de ocurrencia de las ilustraciones en la muestra: en el eje horizontal tenemos los tipos significativos y en el vertical están los artículos agrupados en cúmulos. La escala cromática nos indica la abundancia o ausencia de un tipo dado (Figura 6.51).

Se pueden presenciar a primera vista algunos fenómenos interesantes:

1. Una parte de los registros pictóricos de objetos o fenómenos visibles para el ojo humano (**Ia**) es excluyente, casi de manera genérica, con las fotomicrografías (**IIb**).
2. Se puede afirmar que los tipos **Ib** (fotomicrografías) son mutuamente excluyentes de las estructuras moleculares **IIa** y de los *overviews* génicos.
3. Salta también a la vista la presencia del tipo **IIIb** (graficaciones presentacionales) en casi todos los artículos de la muestra, con la excepción clara de artículos con una alta ocurrencia de estructuras moleculares (**IIa**) por lo que se puede afirmar que dichos tipos de ilustración son excluyentes.
3. Las estructuras moleculares (**IIa**) son una categoría generalmente autónoma.

Ia Ib Ila Ilb1 IIIa1 IIIa2 IIIb IIIc1 IIId1 IIId2 IIle Ov.

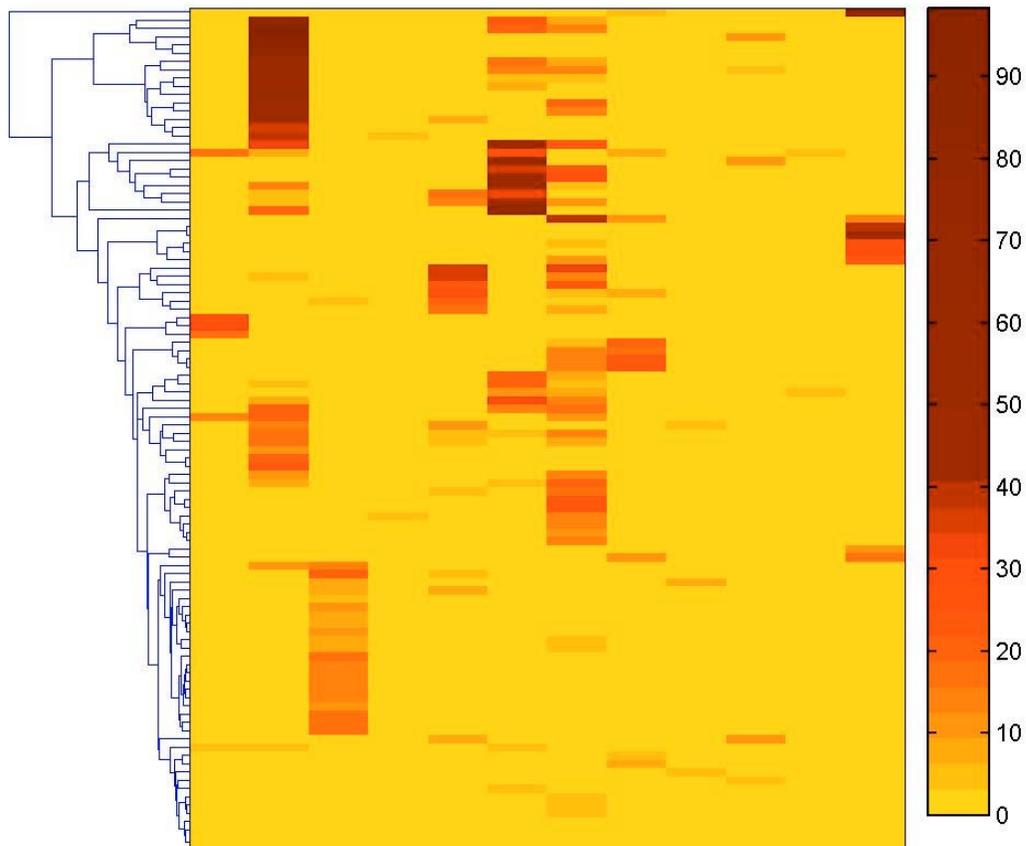


Fig. 6.51: *Heatmap* o matriz de densidades con objetos ordenados de los tipos de ilustración

Para interpretar más a profundidad el *heatmap*, es necesario ir de nuevo a los dendrogramas, ya que por la cantidad de objetos (artículos), el *heatmap* no cuenta con las etiquetas de clasificación y si las tuviera sería imposible distinguirlas fácilmente (véase figura 6.52, que es el mismo árbol que se presenta en el eje vertical de la figura 6.51, salvo por el método de ordenación de los subárboles pues se emplearon programas diferentes para dibujarlos).

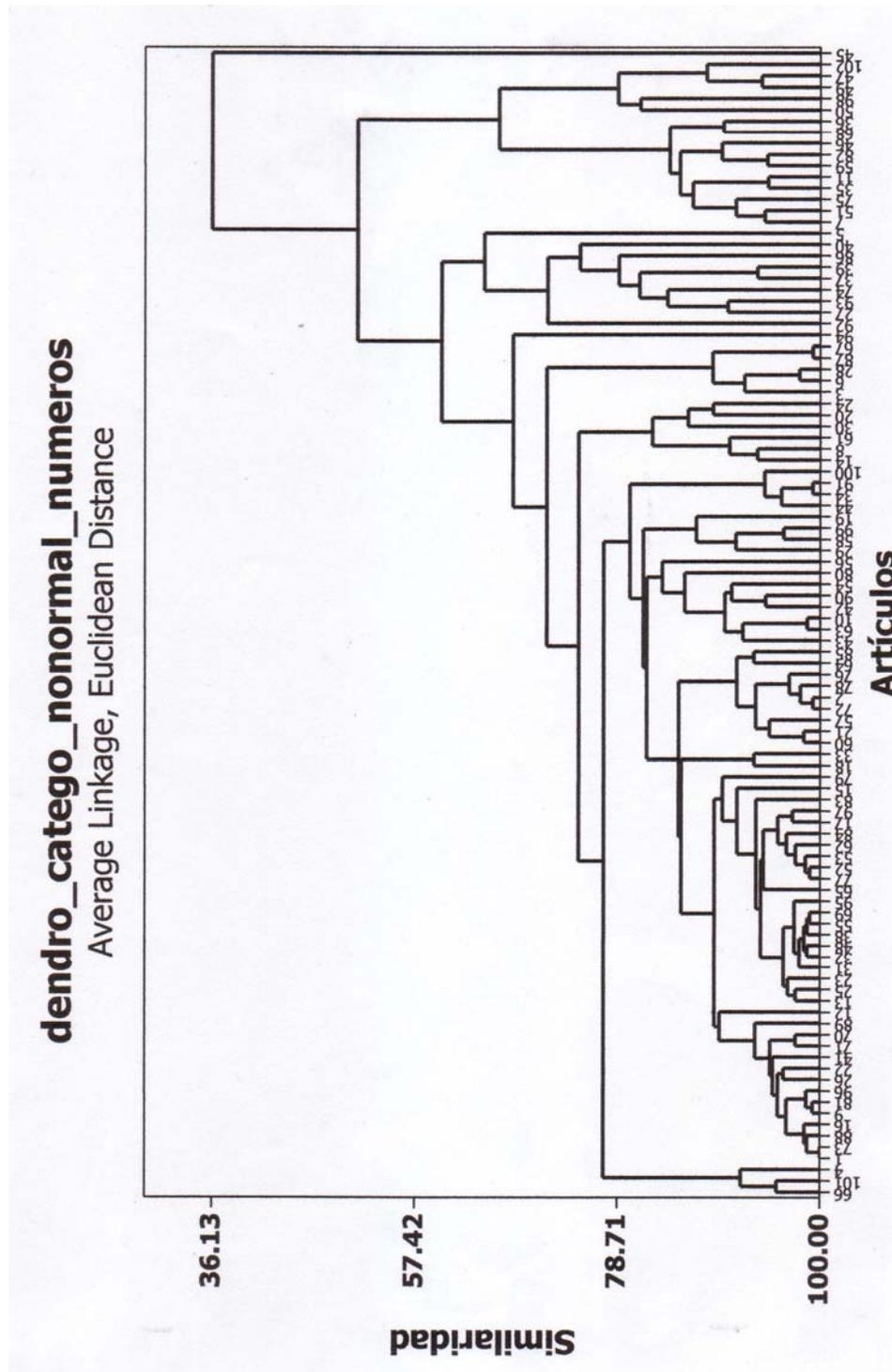


Fig. 6.52: Dendrograma correspondiente al *heatmap* de la figura 6.51.

En el dendrograma de la figura 6.52, se aprecian claramente algunos grupos ligados a la utilización predominante de algún tipo de ilustración. Tenemos aquí el caso de los registros pictóricos de objetos o fenómenos visibles para el ojo humano (**la**) donde se puede distinguir el grupo de los artículos que no se presentan simultáneamente con fotomicrografías (y tampoco otro tipo de ilustración) que corresponden a los tres artículos de enfoque naturalista (66, 101 y 4) entre cuyas ilustraciones predominan las fotografías y los dibujos realistas que parecen ser autosuficientes en este caso para el argumento científico. Otros grupos claramente delineados son los de los artículos que contienen cantidades considerables o de fotomicrografías o de estructuras moleculares o de registros de datos sensoriales o de electroforesis o de *overviews* génicos, así como un grupo formado por los artículos que contienen pocas ilustraciones.

Sin embargo, para hacer un análisis más fino que el que emplea cantidades en bruto a partir de la tabla de abundancia de las ilustraciones, se realizó un nuevo análisis, pero una vez que la matriz de datos se ha manipulado para llevar todos los datos a una misma escala sustrayendo a cada columna su propia media y normalizando a la desviación estándar. La información acerca de las correlaciones entre tipos, es la misma que en la figura anterior, pero la estructura del dendrograma del eje vertical es más confiable (Figura 6.53).

la lb Ila I Ib1 IIIa1 IIIa2 IIIb IIIc1 III d1 III d2 IIIe Ov.

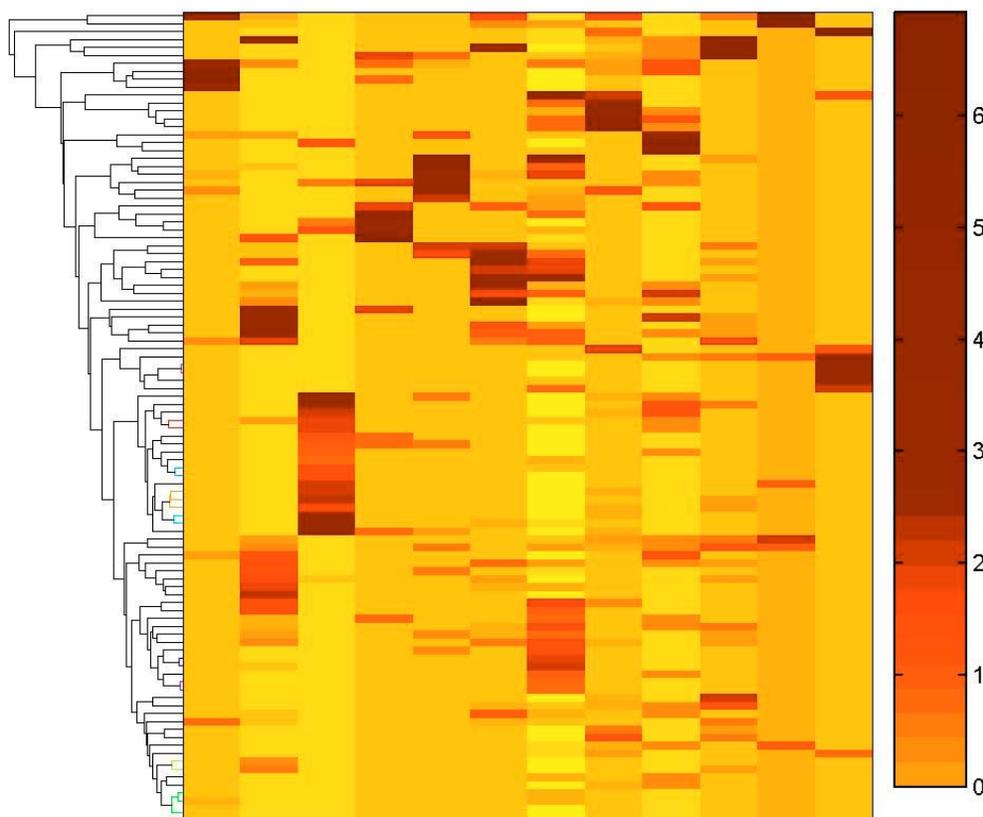


Fig. 6.53: *Heatmap* o matriz de densidades normalizada con objetos ordenados de los tipos de ilustración

Dicho árbol se muestra a detalle en la figura 6.54 y donde hay hechos interesantes que conviene destacar.

Hay dos artículos (29 y 40), ambos de enfoque experimental (uno de biología molecular y otro de biología del desarrollo), que se alejan del resto y no se parecen mucho. La razón es muy interesante ya que son, dentro del universo entero de artículos, aquellos que tienen mayor diversidad ilustrativa. En otras pa-

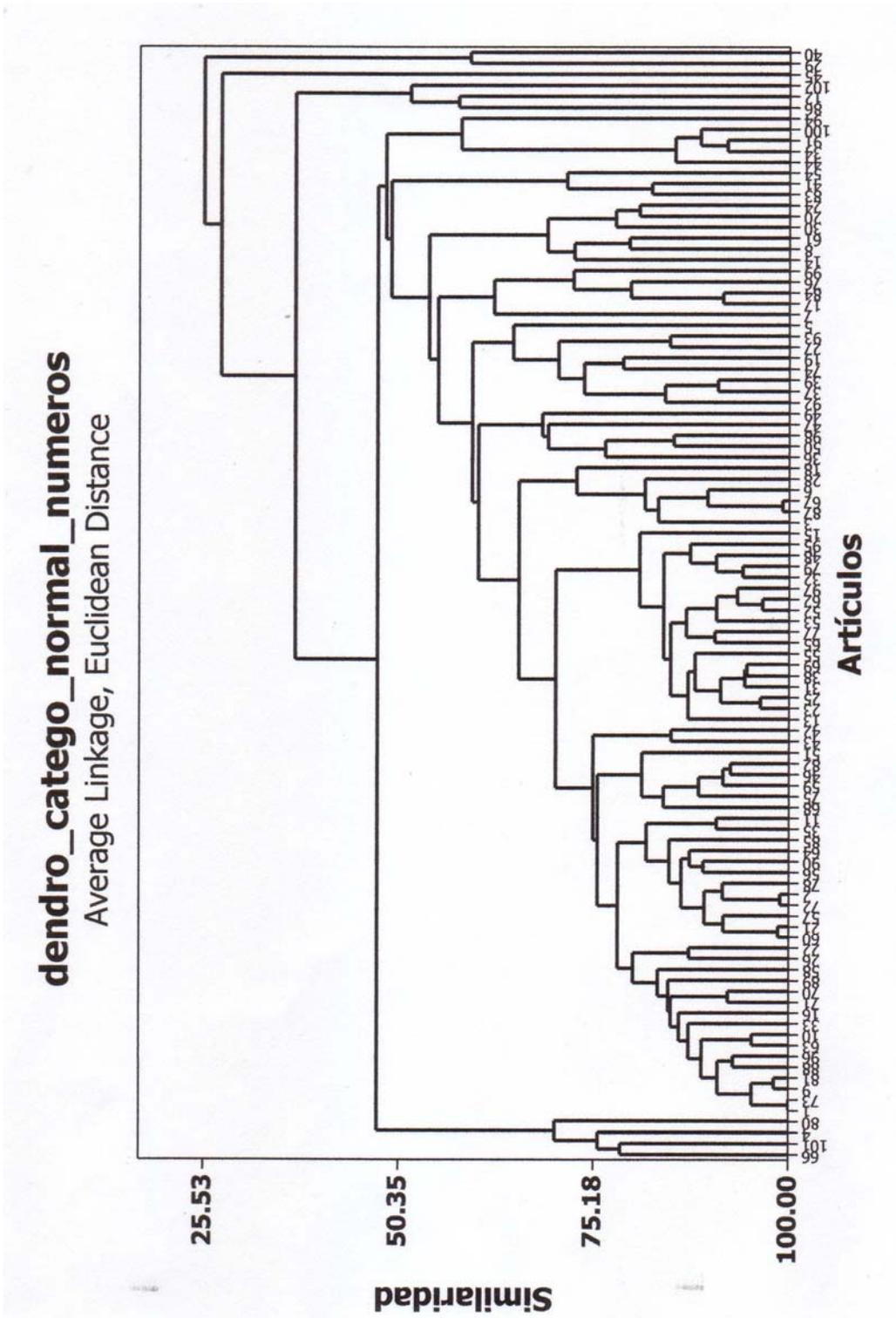


Fig. 6.54: Dendrograma de artículos según su numeración

labras, tienen en ellos representados casi todos los tipos de ilustraciones. No deja de ser curioso que en este caso, la diversidad implica exclusión.

También se diferencia mucho de la muestra el artículo 45 (véase figura 6.54), que siempre sale como caso extremo, pero en claro contraste con los del párrafo anterior, éste está en el otro extremo pues no tiene otra cosa que no sean *overviews*. Por otra parte, el grupo formado por los artículos 66, 101 y 4, todos del enfoque naturalista con predominancia de fotos o dibujos realistas, se distinguen también del total por su alto contenido en estos tipos. El artículo 80 pertenece a este *clúster*, pero un poco distante del trío anterior pues también tiene bastantes dibujos, pero además contiene fotomicrografías y registros.

Es interesante subrayar que los artículos pueden estar lejos de la generalidad por dos razones extremas: por estar especializados en un solo tipo o, por otra parte, por tener casi todos los tipos representados.

Comentarios análogos son válidos para el siguiente dendrograma (Figura 6.55) donde en el eje horizontal se indica la clasificación de los artículos por especialidades. Sin embargo, no se percibe mucha resolución. Este se puede adjudicar a posibles ambigüedades en la clasificación disciplinaria debido a que las fronteras entre las especialidades son difusas. Otra fuente de problemas para dicha clasificación es la naturaleza interdisciplinaria de buena cantidad de las investigaciones.

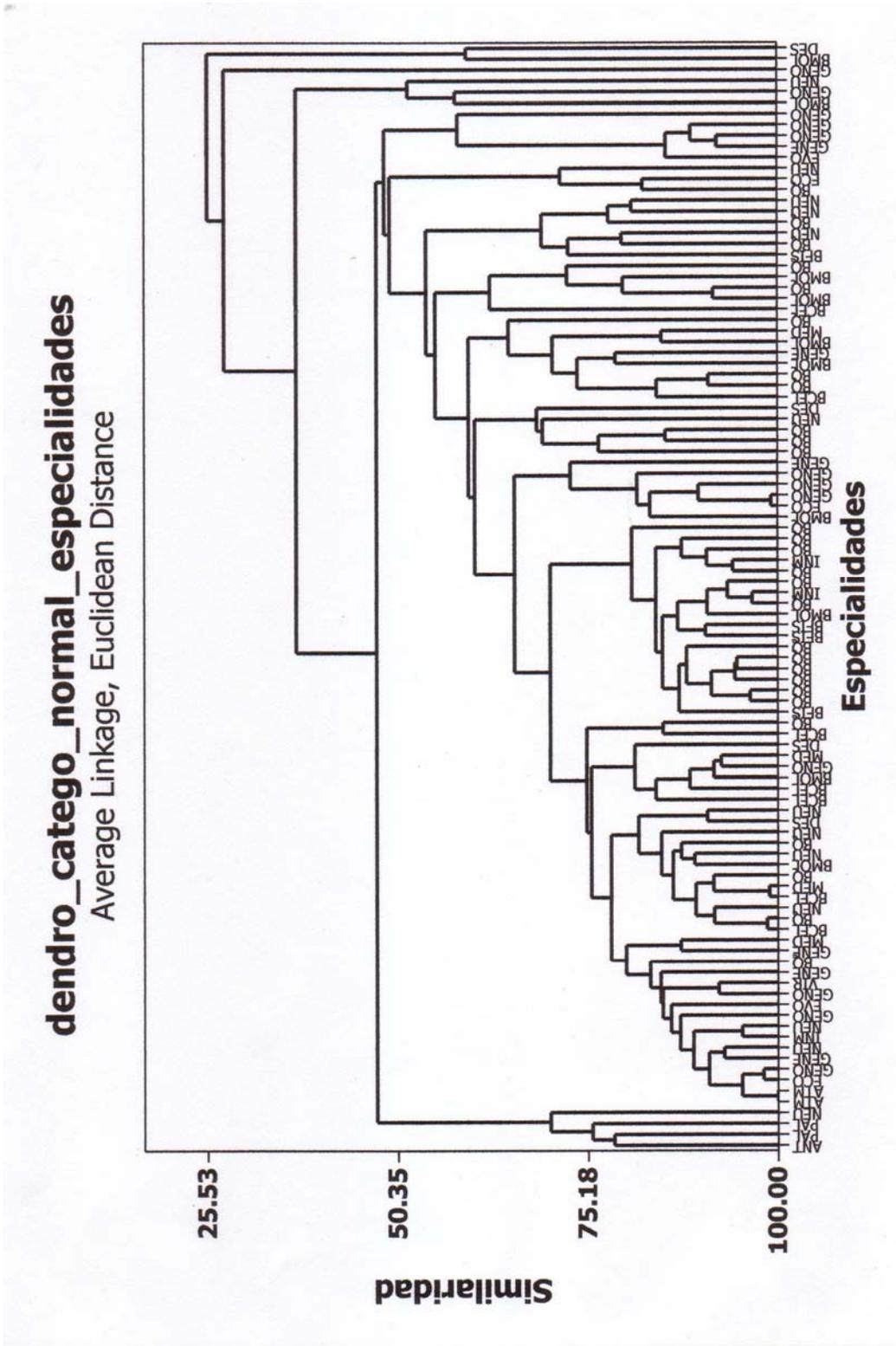


Figura 6.55: Dendrograma de artículos por especialidades

En lo que respecta a los enfoques metodológicos, el siguiente dendrograma anterior (Figura 6.56), en la profundidad del árbol muestra una notable concordancia entre los artículos y los grupos del mismo enfoque metodológico y también los artículos discordantes en los análisis anteriores lo siguen siendo. Sin embargo, se detectan 10 casos que invitan a un análisis más profundo acerca de su clasificación en lo que al enfoque metodológico corresponde.

Si se analizan con detenimiento los grupos que se conforman, se detectan algunos artículos que parecen no ubicarse correctamente. Tenemos en esta condición cinco artículos clasificados como bioinformáticos, cuatro de enfoque experimental y uno de enfoque teórico. Después de un análisis caso por caso se llegó a los siguiente resultados:

1. Artículos clasificados como de enfoque bioinformático

Artículo 12 de genómica bioinformática: Este artículo parece anómalo porque no cuenta con *overviews* génicos y posee una sola visualización computacional. Al revisar nuevamente el artículo impreso se llegó a la conclusión de la necesidad de reclasificar dos ilustraciones, una que parecía ser de registros aglutinados (conjunto ilustrativo 4), pero que en realidad es resultado de una alineación computacional y por lo tanto a considerarse como *overview* génico. El conjunto ilustrativo 6 fue reclasificada en el mismo sentido, ya que en algunos casos la frontera entre los *overviews* y los mapas génicos es muy ambigua.

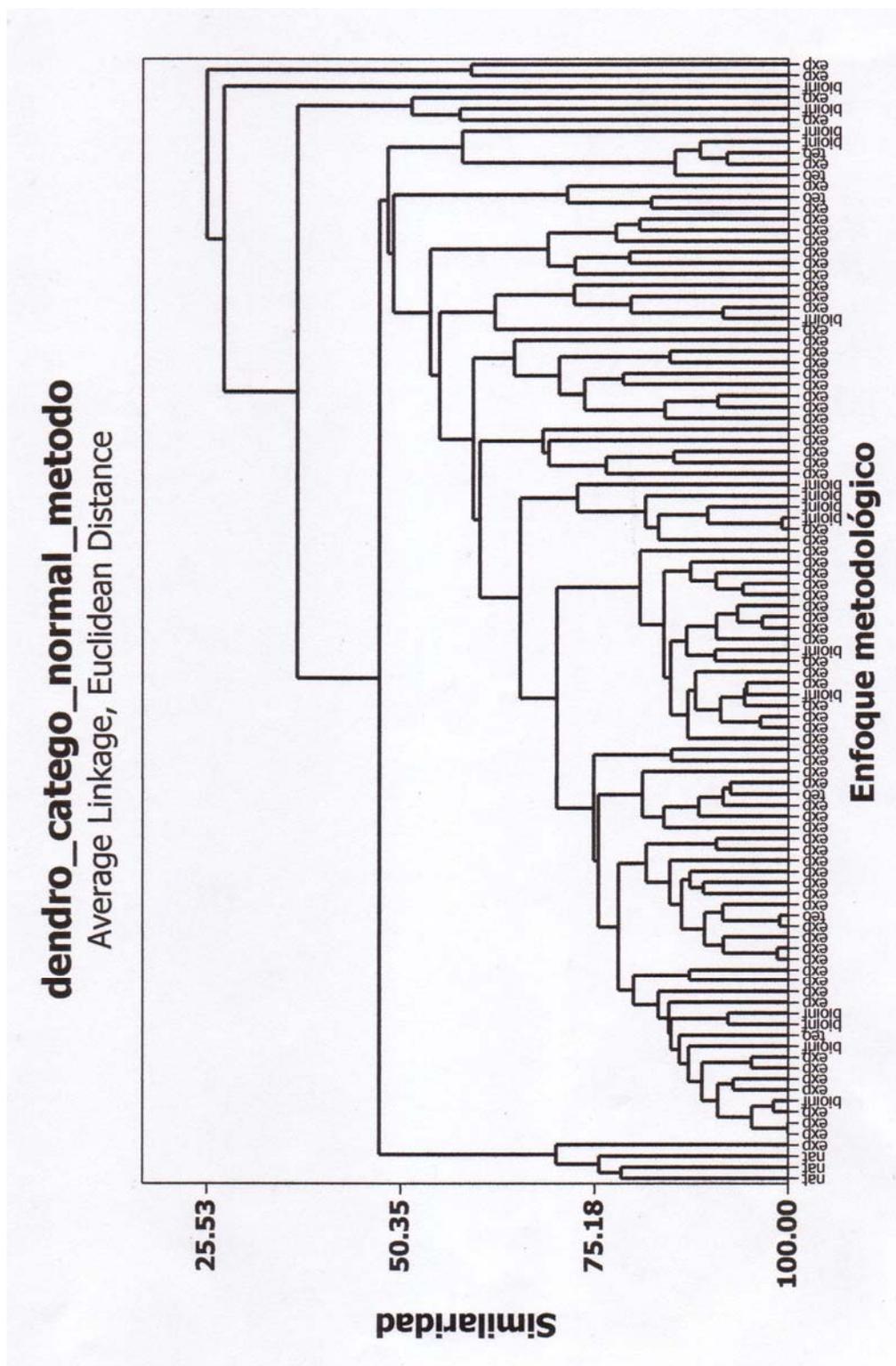


Fig. 6.56: Dendrograma de artículos por enfoque metodológico

Artículo 17 de biología molecular bioinformática: Aquí ocurrió algo similar. El supuesto mapa génico del conjunto ilustrativo 1 en realidad puede considerarse como *overview* génico, dado que la variable independiente que se estudia corre a lo largo del genoma. Por igual, dentro del conjunto ilustrativo 3 se encuentra un mapa génico mal clasificado. Revisando nuevamente la metodología se reclasificó como experimental y permitió extraer información novedosa de mucho valor: Se puede ahora afirmar que cuando un artículo reporta experimentos propios, se debe de clasificar como experimental aunque después se haga un análisis bioinformático de los resultados. En contraparte, si se parte de datos experimentales ajenos, tomados de la literatura, y se hace un posterior análisis bioinformático, entonces consecuentemente el artículo deberá ser clasificado como perteneciente a este último enfoque metodológico.

Artículo 81 de genómica bioinformática: las gráficas presentacionales del conjunto ilustrativo 2 están en el borde de las visualizaciones computacionales. Se trata de *expression profiles*, es decir, graficaciones en las que los datos pasan por un preproceso en el software *Clustalw* que ejecuta alineaciones de secuencias génicas.

Artículo 77 de biofísica bioinformática: en realidad está mal clasificado, ya que la cristalización es un método experimental.

Artículo 38 de bioquímica bioinformática: el artículo está mal clasificado porque el método principal es la microscopía electrónica criogénica y, por lo tanto, es sin duda de enfoque experimental.

2. Artículos clasificados como de enfoque experimental

Artículo 3 de biología molecular experimental: Está mal clasificado. A partir de una base experimental estándar y con datos en buena parte tomados de la literatura y no del propio laboratorio, se realizan análisis bioinformáticos. Se reclasificó en concordancia con la discusión del artículo 17.

Artículo 87 de ecología experimental: está mal clasificado por la misma razón que en el artículo 3 y siguiendo la discusión anterior. La clasificación correcta es como genómica bioinformática.

Artículo 72 de biología celular experimental: este artículo es anómalo en la muestra, pero indudablemente es de enfoque experimental. Se trata de un artículo en el estilo *démodé* en el cual los resultados de los experimentos van directamente a las gráficas sin presentar al lector ninguna ayuda visual adicional.

Artículo 34 de genética experimental: debería ser clasificado como teórico. El proceder metodológico no es experimental, ya que a partir de resultados existentes en la literatura se prepara un protocolo experimental y se hace un extenso análisis estadístico multivariado.

3. Artículo clasificado como de enfoque teórico

Artículo 46 de genómica teórica: El artículo cuenta con 62 fotomicrografías por lo que se sugiere que debe ser clasificado como de enfoque experimental.

Después de las reclasificaciones correspondientes, el dendrograma resultante del análisis de cúmulos muestra una distribución más coherente de la realidad empírica. Esto se hizo en dos versiones: una en relación con las especialidades (Figura 6.57) y otra con respecto a los enfoques metodológicos (Figura 6.58). La primera es difícil de tratar puesto que la división entre las especialidades no está exenta de ambigüedad y en el caso de artículos interdisciplinarios la tarea de clasificarlos puede ser imposible. Los dendrogramas correspondientes a la situación original y a la corregida no difieren en gran cosa.

Sin embargo, con la reclasificación de los enfoques metodológicos ya se logra un panorama muy coherente (comparar las figuras 6.56 y 6.57), la concordancia obtenida con la corrección es notable.

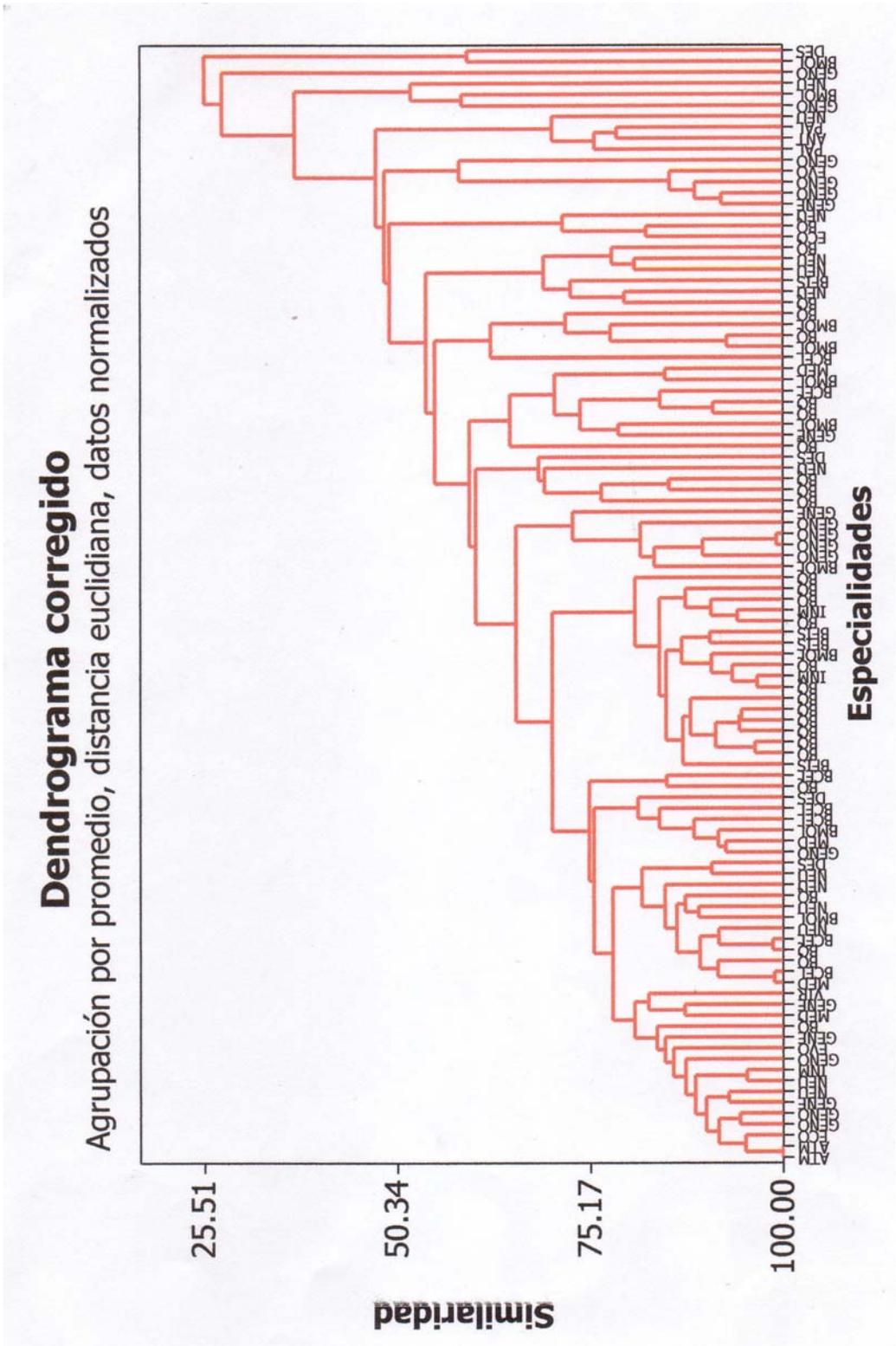


Fig. 6.57: Dendrograma corregido (especialidades)

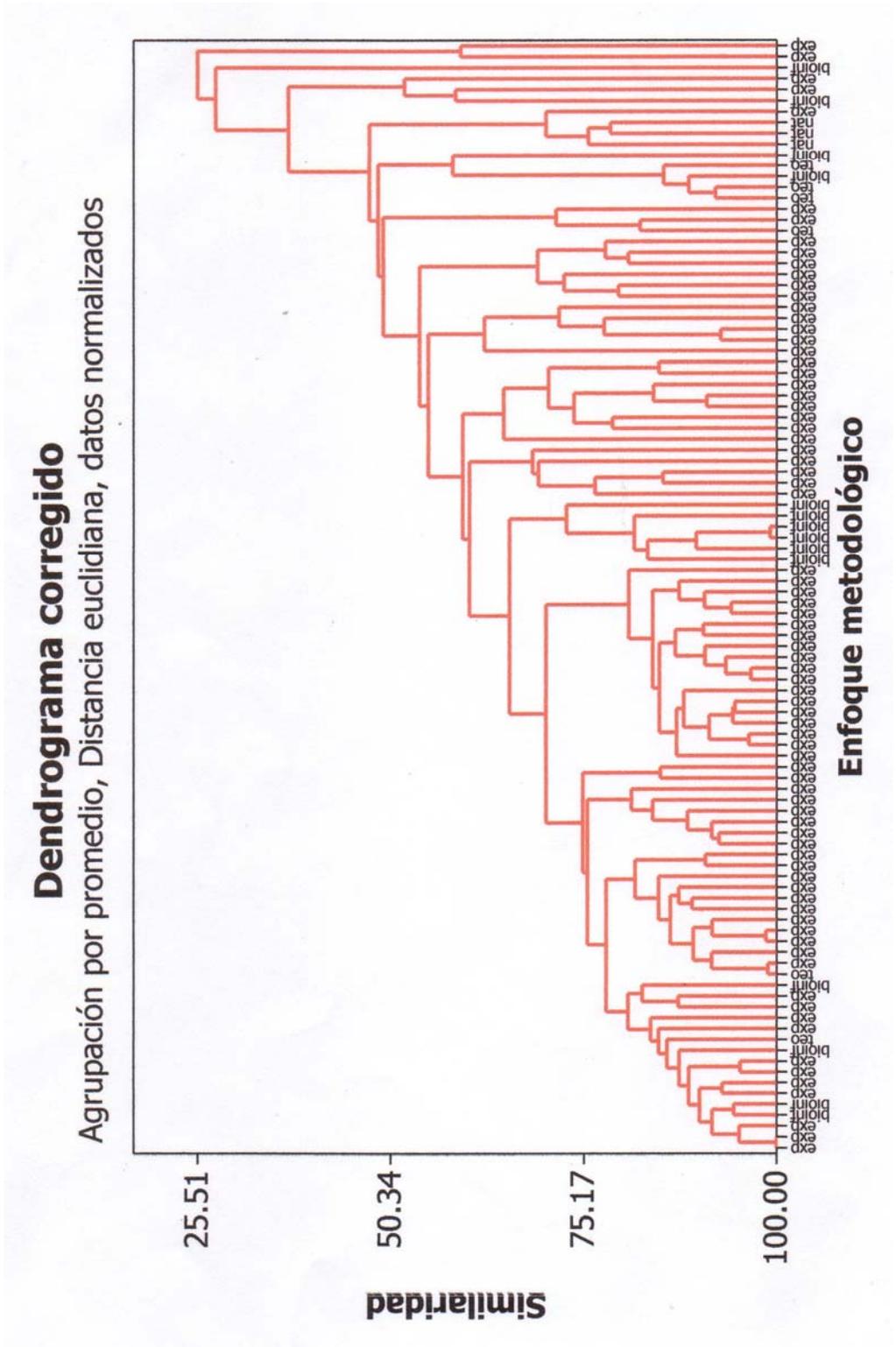


Fig. 6.58: Dendrograma corregido (enfoque metodológico)

Queda de manifiesto la utilidad del análisis estadístico multivariado (análisis de cúmulos). En todos los cálculos efectuados, dicho análisis sirvió para detectar regularidades y anomalías que pueden responder a casos muy específicos o, en su caso, a errores de clasificación tanto de la de los enfoques metodológicos como en la identificación de los tipos ilustrativos y sus formatos altamente especializados. Nuevamente se pudo constatar que los dos artículos de ciencias atmosféricas que artificialmente se introdujeron sospechando que serían muy distintos de los demás, cumplieron con su papel de objetos de control. Adicionalmente, el análisis de cúmulos juega un papel importante para decidir qué tipos ilustrativos proporcionan más peso informativo que otros.

También se obtuvo un resultado importante a partir de los *heatmaps*, y es que a simple vista permiten deducir correlaciones tanto positivas como negativas entre los tipos ilustrativos.

El *heatmap* resultante de las correcciones permitió establecer la posibilidad de hacer inferencias sobre las investigaciones reportadas en los artículos a partir de las ilustraciones que contienen. En el caso de los enfoques metodológicos se pueden formular las siguientes generalizaciones:

Las investigaciones de enfoque naturalista o descriptivo se bastan de fotografías y dibujos realistas o esquemáticos, mientras las investigaciones con método experimental se comunican mediante imágenes de visualización científica con aparatos y registros de datos sensoriales y experimentales. Dentro de estas

investigaciones se distinguen claramente dos grupos, las que publican fotomicrografías predominantemente (solas o en conjunción con otros tipos) y las que publican sobre todo estructuras moleculares sin apoyarse significativamente en otros tipos de ilustraciones.

Las investigaciones que emplean métodos bioinformáticas comunican sus resultados mediante *overviews* génicos y/o visualizaciones computacionales, sobre todo dendrogramas, *heatmaps* y alineaciones de secuencias.

Por último, las investigaciones teóricas se distinguen por la limitada utilización de ilustraciones y se restringen generalmente a pocas gráficas presentacionales, en dado caso, en conjunción con algún diagrama lógico.

6.4 Comparación entre los artículos impresos y sus formatos electrónicos

Tanto *Science* como *Nature* ofrecen simultáneamente a su revista impresa dos formatos electrónicos: PDF (*Portable Data Format*) y texto completo en HTML (*HyperText Markup Language*). La versión PDF es idéntica en apariencia al artículo impreso. Sin embargo, se detectaron diferencias en tres casos de la muestra donde en los artículos impresos se incluyen láminas en papel especial y desplegadas que contienen *overviews* genéticos de grandes dimensiones y alta densidad de información que en el formato PDF se comprimen en una sola página.

El 81% de los artículos cuenta ya con un suplemento electrónico (SOM) que contiene información adicional al artículo impreso. Todos los artículos de *Science* tienen necesariamente este suplemento ya que publican el texto correspondiente a la sección de métodos únicamente en ambiente electrónico, mientras de los 56 artículos de *Nature* un 52% cuenta también con este material extra.

Ambas revistas indican al final del artículo impreso si existe un suplemento electrónico con información adicional y su correspondiente dirección electrónica en Internet, pero solamente en *Science* se especifica su contenido.

El formato PDF permite el acceso visual inmediato a las ilustraciones o mediante las referencias en el texto igual que en el texto impreso, sin embargo, para poder

leer bien el texto y apreciar a 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 en forma de *thumbnails* (imágenes pequeñas) 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 después también en alta resolución. Solamente *Nature* ofrece un índice de las ilustraciones en un *frame* por separado, pero no incluye aquí ligas directas a las ilustraciones contenidas en los suplementos electrónicos.

Una gran diferencia entre la versión impresa y la electrónica en cuanto a las ilustraciones, es la posibilidad de añadir más material visual en un suplemento *online* sin límites de espacio y costos para el color y la posibilidad de incluir imágenes animadas. Un 74% del total de los artículos analizados cuenta entre la información contenida en los suplementos electrónicos con ilustraciones adicionales al texto impreso, y esto con una cantidad muy variada que va de un conjunto ilustrativo como mínimo a 27 conjuntos como máximo (Figura 6.59), siendo el promedio de 3 conjuntos ilustrativos.

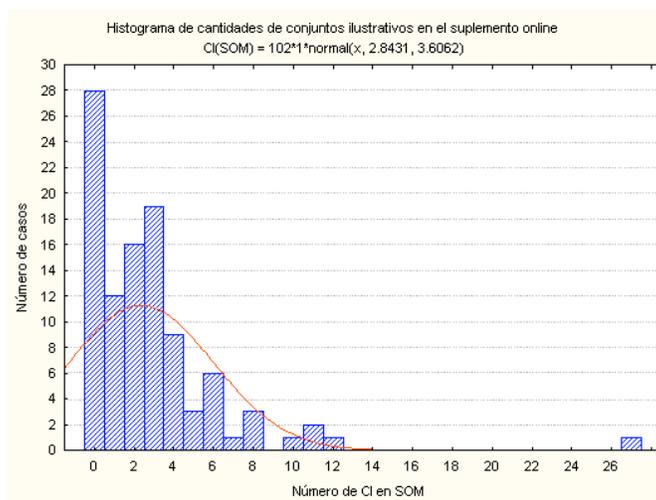


Fig. 6.59: Histograma de la cantidad de conjuntos ilustrativos en los suplementos *online*

Hay que resaltar que empezaron a introducirse poco a poco las imágenes animadas. Hay siete artículos con videos, sobre todo de estructuras moleculares y fotomicrografías animadas y también una gráfica presentacional en movimiento.

En cuanto a los cuadros existe un promedio de cuadro y medio, pero hay que enfatizar que el 49% de los suplementos no tienen este tipo de información tabular (Figura 6.60).

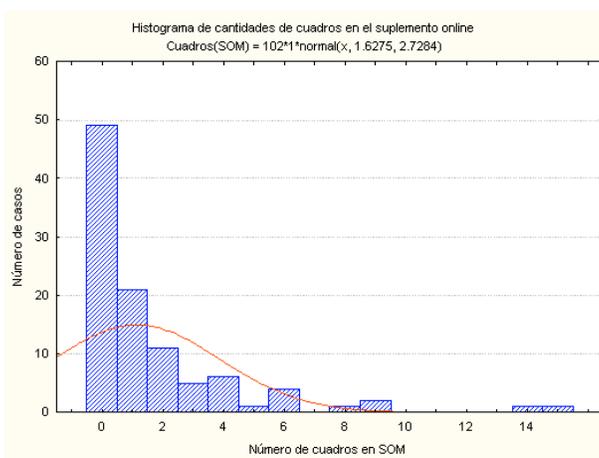


Fig. 6. 60: Histograma de la cantidad de cuadros en los suplementos *online*

En cuanto a los tipos de ilustraciones dentro de los suplementos, la distribución es la siguiente (Cuadro 6.11):

Cuadro 6.11 : Distribución de tipos de ilustraciones en los SOM

TIPOS	Total	%	FORMATOS	Total
Ia	7	0.5	<ul style="list-style-type: none"> • Fotografías • Dibujos 	4 3
Ib	215	13.7	<ul style="list-style-type: none"> • Fotomicrografías 	215
IIa	60	3.8	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras moleculares 	60
IIb1	10	0.6	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas análogos varios 	10
IIb2	0	0.0	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas 	0
IIIa1	76	4.8	<ul style="list-style-type: none"> • Registros varios 	76
IIIa2	638	39.9	<ul style="list-style-type: none"> • Electroforesis • Cajas de Petry • FACS analysis 	305 321 2
IIIb	325	20.6	<ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de líneas • Gráfico de barras • Otros 	325
IIIc1	110	7.0	<ul style="list-style-type: none"> • Dendrogramas • Heatmaps • Redes • Plots varios • Alineaciones 	10 78 1 1 20
IIIc2	1	0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Imágenes calculadas 	1
IIId1	27	1.7	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas lógicos varios 	27
IIId2	46	2.9	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas lógicos génicos 	46
IIIe	23	1.5	<ul style="list-style-type: none"> • Secuencias • Cuadros gráficos 	22 1
IV	5	0.3	<ul style="list-style-type: none"> • Diseños gráficos 	5
0	6	0.4	<ul style="list-style-type: none"> • Cuadros 	6
HIBRIDOS	35	2.2	<ul style="list-style-type: none"> • Overviews génicos 	35
TOTAL	1574	100.0		1574

En primer lugar, con casi el 40% de las ilustraciones, se encuentran los registros de datos experimentales, por partes iguales electroforésis y cajas de Petry, pero las últimas están contenidas en un solo suplemento.

En segundo lugar, se ubican las gráficas presentacionales con el 20.6 %. Llama la atención esta cantidad y se podría deducir que en los artículos es, tal vez, menos atractivo publicar este tipo de ilustraciones.

Las fotomicrografías se encuentran en el tercer lugar con el 13.9%, seguido por las visualizaciones computacionales con el 7% donde abundan los *heatmaps*.

Los demás tipos están poco presentes en los suplementos. Sobre todo hay poca inclusión de estructuras moleculares que tienen su lugar preferencial en los propios artículos.

Para un análisis cuantitativo del tamaño de los conjuntos ilustrativos y su composición en porcentajes de sus componentes, existe un problema de comparabilidad insuperable, ya que en los suplementos electrónicos, la información viene en diferentes formatos HTML, DOC, XLS o JPG, entre otros tipos de archivo. Ni siquiera es posible comparar las imágenes, ya que los archivos gráficos están ocultos en la versión PDF que analizamos y si las tomaríamos de la versión en HTML, no se podría estar seguro de poder comparar los archivos en JPG, ya que no se conoce su grado de compresión o la resolución en la que fueron producidas.

Sin embargo hay un resultado que llama la atención. En el suplemento *online*, que no es un espacio limitado como el artículo impreso, las extensiones de los archivos pueden ser enormes ya que algunos contienen listas de datos. Pero si se analizan las clases de conjuntos ilustrativos contenidos en los suplementos electrónicos, se puede percibir un fenómeno interesante: en los artículos impresos, la clase SID, es decir, conjuntos de una sola imagen constituye menos del 20%, mientras en los suplementos *online* (SOM), un espacio menos normado y sin límites de extensión, llegan a casi el 60% (Cuadro 6.12).

Cuadro 6.12: Distribución de clases de conjuntos ilustrativos en los artículos impresos y los suplementos electrónicos

CLASES DE CONJUNTOS

	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 %

Se percibe claramente un comportamiento distinto en la presentación de las ilustraciones en ambos contextos, con una tendencia a la densificación del espacio en el artículo impreso.

7. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Apreciar la imagen visual como objeto de estudio interdisciplinario obliga a tomar en cuenta aspectos que van más allá de su carácter meramente documental a que se le restringe usualmente en la bibliotecología. Siendo un fenómeno complejo y específico que abarca cuestiones de la percepción visual, de aspectos culturales, de distintas formas de representación tanto formales como estéticas y el impacto que pueda causar, es extremadamente limitado asignarles un lugar marginal o de “anexas”. Aun como parte integral de un documento como es el caso de los artículos científicos, merece recibir un tratamiento especial. En cuanto a las ilustraciones en textos científicos, se constató que la literatura sobre publicaciones electrónicas y los estudios sobre los hábitos de su uso entre los científicos, no se pone más énfasis en las imágenes que el de aludir a la posibilidad de agrandarlas mediante el comando *zoom* o acaso se menciona la dificultad o lentitud de desplegar archivos gráficos grandes. No poner atención a las imágenes en la lectura de las revistas científicas lleva consigo que en la discusión sobre el desarrollo de colecciones predominen políticas sin reflexiones más que presupuestarias y de espacio físico que promueven la eliminación de colecciones de revistas impresas por su símil en versión electrónica. Y en lo que a los servicios de información se refiere, la experiencia relatada con el servicio referencial de EBSCO que suprime las ilustraciones en los artículos de *Science*, incluso la clasificación misma de las ilustraciones, da fe de una conceptualización limitada de las imágenes. La presente investigación, en su intento de acercar la bibliotecología al llamado *iconic turn*, se empeñó en construir un marco teórico

interdisciplinario que permitiera enfocar la atención sobre aspectos que normalmente no se toman en cuenta en los estudios sobre la comunicación y la lectura científica, como tampoco en la prestación de servicios bibliotecarios y de información científica y técnica como lo son principalmente la visión y sus procesos cognitivos, la cultura y los contextos que dan significado a las imágenes, cuestiones formales de la representación visual como la iconicidad y la estética que difícilmente se puede desligar de las emociones.

7.1 Las ilustraciones en los artículos científicos en las ciencias biológicas

Para el caso de los artículos de investigación, al menos en las ciencias biológicas, quedó demostrado que las ilustraciones juegan un papel central por el espacio físico que ocupan, por su calidad de transmitir información densificada y compleja y por constituir un recurso privilegiado por los autores de los artículos. Aunque nadie había negado la importancia de las ilustraciones en los artículos científicos, sin embargo la magnitud del fenómeno rebasa las afirmaciones que Meadows¹ hizo en relación a los artículos de las ciencias empíricas en donde las gráficas, dice, llegan a constituir una tercera parte. En la muestra analizada en más del 80% de los artículos los conjuntos ilustrativos ocupan una tercera parte o más del cuerpo, llegando el 20% de los 102 artículos los conjuntos ilustrativos a ocupar la mitad o más del cuerpo. El espacio dedicado exclusivamente a imágenes también es considerable, ya que el 45% de los artículos contiene imágenes que ocupan

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

una tercera parte o más del cuerpo. Sin embargo, la comparación con la afirmación de Meadows es solamente indicativa, ya que él no especifica bases empíricas de su estudio y se supone que toma el artículo como un todo, mientras en la presente investigación solamente se consideraron el cuerpo sin título, autores y referencias, achicando aún más el cuerpo en cuanto se excluyó la sección de métodos. Otro punto no aclarado en la comparación constituye el tipo de artículo considerado en la muestra, ya que se analizaron solamente artículos de investigación de cierto tipo y no los llamados *reports* o *letters*. Sin duda, la inclusión de este tipo de artículos hubiera elevado aún más los porcentajes ocupados por las imágenes.

Asimismo se encontró que la densidad de información de los conjuntos ilustrativos es alta, ya que solamente un porcentaje muy pequeño contiene una sola imagen, y en los suplementos electrónicos frecuentemente se ofrecen aún más ilustraciones al lector. Podemos deducir que los autores emplean ciertas estrategias contra las limitaciones para incluir ilustraciones al utilizar 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 lo son los suplementos electrónicos. A mi parecer, la forma en que hasta hoy en día se debe presentar un artículo científico según la norma imperante, se bate entre la funcionalidad y eficiencia requeridas y la obligación del científico de actuar dentro de estos parámetros para que su colaboración sea aceptada. Este cumple con la forma, pero no sin generar

estrategias de resistencia y persuasión en las que juegan un lugar central, en calidad de recurso privilegiado por los autores, las imágenes.

El caso de las ciencias biológicas nos puede dar pautas de lo que el futuro nos depara. La pregunta acerca del impacto de las nuevas tecnologías de producción de imágenes en la era digital, nos lleva a constatar que el cómputo está presente en casi la totalidad de las representaciones visuales, con la excepción de algunos dibujos tradicionales. Pero no es la graficación por computadora que sustituye al dibujante o el dibujo mediante *software* especial que sustituye al ilustrador, los que producen cambios significativos, sino las técnicas de procesamiento digital de imágenes, el supercómputo y sus técnicas de visualización, las imágenes en movimiento y la interactividad.

7.1.1 Las nuevas imágenes

En convivencia con las imágenes convencionales como los serían los dibujos, las fotografías y las fotomicrografías, entre otras, la era digital trajo consigo algunos fenómenos nuevos que destacan entre las ilustraciones contenidas en la muestra:

- 1) *Las fotomicrografías productos del merge*: Las fotomicrografías son un buen ejemplo, ya que no solamente emplean las técnicas para mejorar las imágenes (*enhancement*), sino que suman dos o más imágenes mediante la aplicación de la función *merge*. Los colores resultantes ya no representan a la realidad capturada por el aparato, sino que codifican propiedades que

comparten las imágenes fundidas, información cualitativamente nueva y no contenida en las imágenes originales. Estas representaciones rompen con la “fidelidad” de la representación y con ello también hacen tambalear los esquemas de iconicidad. La presentación de fotomicrografías en serie de las fotomicrografías que se comparan seguidas por la resultante del procesamiento de imágenes, recuerda a lo estipulado en la literatura sobre las representaciones visuales en la biología donde se hablaba de la común dupla de fotografías y diagramas que representaban el mismo objeto, una de manera realista y la otra dibujado destacando particularidades específicas como las conocemos de las ilustraciones científicas tradicionales, situación que no se pudo observar en la muestra. Se podría sostener que el *merge* sustituye esta forma de representación de dos diferentes niveles de abstracción.

- 2) *Plots de imágenes*: Otro fenómeno nuevo constituye la aglutinación de imágenes como fotomicrografías o electroforesis en coordenadas o matrices donde importa la posición de la imagen para acceder a su significado específico. Se podría pensar que este tipo de representaciones condensan la información contenida en las imágenes con su interpretación sin recurrir al texto lineal.
- 3) *Overviews*: En el caso de los *overviews* génicos destaca que algunos contienen tanta información que requieren, para insertarse en los artículos, ser publicados en hojas desplegadas aparte como ocurrió también con las primeras ilustraciones a color que representaban estructuras moleculares.

Al mismo tiempo es imposible describirlas con palabras lo que se refleja en el tamaño mínimo de sus leyendas.

- 4) *Visualizaciones computacionales*: En las visualizaciones computacionales de datos multivariados y de información llama la atención, sobre todo, la gran variedad de formas y formatos que dependen del *software* utilizado y cuyos diseñadores consideran cada vez más aspectos estéticos y metáforas visuales atractivas. Algunos tipos ocupan con su información el espacio total sin fondos blancos y se parecen a obras de arte abstracto. En contraste con las gráficas tradicionales, donde sólo lo dibujado o delineado sobre un fondo blanco sin significado portaba información, en el caso de las visualizaciones mencionadas todo el espacio del “cuadro” tiene sentido y se prescinde, como en el caso de las imágenes abstractas, de letras y otros señalamientos dentro del mismo. El formato correspondiente a este fenómeno encontrado con frecuencia en la muestra son los *heatmaps*. Como se vio también en el análisis multivariado realizado en la presente investigación, su interpretación no es nada simple, sin embargo permiten presentar en un espacio mínimo enormes cantidades de información compleja sobre el comportamiento de los datos que se percibe de un vistazo. Se podría sugerir que su publicación en los artículos evoca precisamente a esta capacidad de percepción visual primaria y, posteriormente, invita a la decodificación racional que requiere de información adicional textual fuera de la imagen o que sea desplegada en un dispositivo de su ambiente de origen, que es digital.

5) *Imágenes animadas*: Las imágenes en movimiento que además pueden contar con sonido, solamente se pueden apreciar en un ambiente electrónico con los programas de video adecuados. En la muestra sólo se encontraron algunos artículos con imágenes animadas en la información suplementaria en línea que se publica adicionalmente a la versión impresa, pero se puede vaticinar que pronto aumentará su presencia al igual que la de imágenes interactivas que permiten comunicar procesos y recrearlos respectivamente. Para estos casos se podría requerir que en el texto existieran ligas a ambientes de realidad virtual donde el lector puede interactuar directamente, ya no sólo con datos, sino con “objetos virtuales”. Y si nos imaginamos un futuro con un ambiente de inmersión en laboratorios virtuales, desaparecerían las ilustraciones como tales, y nos enfrentamos a que se pierden las fronteras claras entre lo que denominamos texto, imagen, y objeto.

En general, es sugerente caer en cuenta que las ilustraciones en la era digital lucen 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. Palabras como *information design* y *aesthetic computing* constatan que la vertiente estética actualmente no es un producto colateral, sino forma parte de la imagen misma y donde el color juega un papel importante. Las nuevas tecnologías de la imagen en la era digital, aún predominantes hasta ahora en las ciencias biológicas, físicas y matemáticas, tienen potenciales de aplicación en todas las áreas del conocimiento, ya que

permiten procesar datos abstractos y grandes cantidades de información ayudado por las capacidades del supercómputo científico y hacer visible procesos, interacciones, relaciones, grupos afines, etcétera.

Como una hipótesis que futuras investigaciones podrían retomar, se podría afirmar que son las imágenes productos de las técnicas de procesamiento digital, del supercómputo y sus técnicas de visualización, las imágenes en movimiento e interactivas las que producen, entre otros factores, por supuesto, cambios en la manera de hacer ciencia (metodología), pero sobre todo empujan hacia cambios en la forma de comunicar y de publicar la ciencia. Pero tampoco hay que negar los peligros que conllevan las imágenes que pueden prestarse a la manipulación o intervenciones de edición exageradas que afectan su autenticidad. Esto significa también posibles dificultades en el proceso de dictaminación que no está normado para materiales visuales y todavía no se incluye 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 desde que existe la actividad científica se han reportado fraudes científicos y manipulación de datos; esto no es nada nuevo y sigue siendo una cuestión principalmente ética. Pero curiosamente no es entre las visualizaciones computacionales donde se encuentra el mayor riesgo. La manipulación no ética de imágenes, me atrevo a afirmar, encuentra mayor potencial entre las imágenes visuales que denomino *registros*: imágenes realistas como las fotografías, las fotomicrografías o la imagenología médica y registros de datos experimentales como las electroforésis. La intervención fraudulenta no ocurre aquí a nivel de los

datos crudos, sino a nivel imagen. Para sustentar esta afirmación, únicamente hace falta recordar el conocido caso de fraude científico de Woo Suk Hwang, de la Universidad Nacional en Seúl, Corea del Sur. Después de una serie de artículos publicados en revistas muy prestigiadas, la comunidad científica llegó a pensar que Hwang marcaría una revolución en la tecnología de la clonación de células troncales. Sin embargo, se detectó que en un artículo, el investigador había presentado una serie de fotomicrografías pertenecientes a diferentes células, cuando en realidad todas las fotomicrografías eran de una sola. Un caso más impresionante es el de Motoshi Sawada, un becario posdoctoral, quién bajo la presión de trabajo que le imponía su profesor, que le forzaba tratar de hallar resultados publicables, alteró mediante el mundialmente conocido programa *Photoshop* los resultados de un *western blot* para hacerlo interesante.

Esta situación ha llevado a la revista *Nature* a modificar sus *guidelines* para que los autores que quieran publicar en ella, hagan explícito todo tipo de procesamiento de imágenes y casi los obligan a jurar que no han hecho algo indebido. La editorial que evoca a una nueva ética, apela a los autores no rebasar los límites de lo permitido y válido, se publicó con el sugerente título: *A picture worth a thousand words (of explanation)*².

Para facilitar el acceso a la información necesaria para validar una imagen, sería recomendable entonces, aprovechando las facilidades de la publicación electrónica, que se incluyeran ligas directas desde la imagen (imagen como

hyperimage) que llevarán a la parte correspondiente de la metodología y/o los datos mismos en que se basaron, para que permitieran al lector sacar sus propias conclusiones o repetir los experimentos o cálculos.

7.1.2 Las implicaciones para los servicios de información

En correspondencia con la alta especialización de las ilustraciones en las publicaciones científicas, se tendrá que pensar en la prestación de servicios también altamente especializados de información científica, con personal con amplios conocimientos acerca de las representaciones visuales del área de especialidad de la biblioteca o unidad de información. Dado que las ilustraciones son tan importantes en los textos científicos, el documento que se proporcione debe garantizar una buena calidad en lo que se refiere a la reproducción, de la impresión o despliegue de las imágenes en la pantalla de la computadora. Aparte de la resolución, que es fundamental en la calidad de una imagen, el color constituye en la actualidad un ente indispensable. Ya que el ojo humano distingue muchos más matices de color que de grises, el color es de gran utilidad para gráficas con muchas variables o de gran densidad de información, para mostrar cúmulos o patrones, así como en las imágenes de codificación de color como los productos del *merge*, para nombrar solamente algunas. Considerando esto, los servicios de información y documentación deberían reconocer al color como prioritario y garantizar la impresión a todo color de los PDFs que se proporcionan

² Nature Methods, "A picture worth a thousand words (of explanation)", en *Nature Methods*, vol. 3,

al usuario, previa calibración del color en los dispositivos involucrados (monitor e impresora).

También hay que procurar que los proveedores elegidos de bancos de datos en texto completo ofrezcan un acceso libre y eficiente a las ilustraciones y los suplementos electrónicos, garantizando que los equipos de las bibliotecas destinadas a consulta permitan una velocidad adecuada de carga de archivos gráficos, que los monitores e impresoras tengan una buena resolución y que se disponga de los programas más usados para visualizar imágenes en movimiento.

En cuanto al desarrollo de colecciones es pertinente tomar en cuenta las maneras como se leen los artículos científicos. Con la aparición de versiones electrónicas simultáneas a la revista impresa, las bibliotecas se ven presionadas, por cuestiones de presupuesto o espacio físico, a elegir 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 algo distintos y, por lo tanto, es recomendable ofrecer el acceso a ambos formatos a públicos variados y permitiendo diferentes lecturas tanto del texto como de las ilustraciones. Notamos que a veces en la versión impresa no siempre es posible apreciar bien todo el contenido de las ilustraciones porque se trata de reproducciones de pantallas de computadora o 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 que las tres versiones (impresa, PDF y HTML) en realidad no solamente se leen de manera diferente, sino también que su lectura sirve a propósitos distintos. Mientras la versión impresa permite obtener una idea global de los contenidos y su lectura habitualmente no es lineal, el texto completo en HTML paradójicamente tal vez se lea de manera más lineal aunque se usen las ligas para agrandar las ilustraciones. La versión en PDF es de mucha utilidad para imprimir un artículo de interés por tratarse de una copia fiel de original impreso, pero en pantalla se pierde la unidad visual de la página por la necesidad de hacer un acercamiento para poder leer bien el contenido. Esto sugiere recomendar mantener ambas versiones en los servicio de consulta. En un futuro no muy lejano se podría perder la necesidad de publicar la versión impresa, pero también la versión electrónica tendría que cambiar facilitando su lectura y dando un acceso directo a animaciones cada vez más frecuentes, a las bases de datos utilizadas para la visualización computacional, así como a los servidores que permiten la interacción con los datos.

Para que las ilustraciones en los artículos científicos puedan cumplir con la calidad de ente recuperable, primero deben estar bien clasificadas. Como cualquier imagen, pero sobre todo por estar ligadas a un texto, las ilustraciones, al descontextualizarlas de su texto, pierden fácilmente el significado con el cual fueron concebidas. Una posible solución a este problema consiste en integrar en el mismo archivo gráfico metadatos descriptivos que al mismo tiempo pueden sirven para el acceso a ellas. Para extrapolar a partir de la tipología desarrollada

para este tesis a la ilustración científica en general y aplicarla a la totalidad de las disciplinas científicas, queda mucho camino por andar. Como lo muestra la experiencia con las ciencias biológicas, cada disciplina o especialidad crea sus propias representaciones visuales muy específicas, situación que es reforzada aún más por la aparición de una multiplicidad de programas de computación que ofrecen la creación de nuevos formatos de representación que rebasan cualquier terminología tradicional. Al mismo tiempo hay que recordar que la tipología fue creada para ser utilizada en el contexto de la comunicación científica formal. Así también en cada paso que se dé *hacia una tipología de las ilustraciones científicas*, se debe tomar en cuenta precisamente el contexto en donde se ubica. La validez general se debe probar en otras áreas del conocimiento y sobre todo por parte de la comunidad científica misma. En lo que se refiere a las ciencias biológicas podemos destacar la presencia de representaciones visuales altamente especializadas que se producen sobre todo en al área de la genética o genómica con enfoque bioinformático. Las especificidades de otras disciplinas deberán integrarse o se deberán realizar los ajustes necesarios. Se propone a continuación una clasificación que opera incluso para no especialistas (véase Anexo 9.7 para una presentación gráfica de los tipos básicos):

METADATOS DESCRIPTIVOS

IMAGEN-REPLICA

IMAGEN-VISUALIZACION TECNICA

IMAGEN-METAFORA

IMAGEN-MODELO

IMAGEN ABSTRACTA
IMAGEN DE DATOS EXPERIMENTALES
IMAGEN DE VISUALIZACION MATEMATICA
DIAGRAMA ANALOGO
DIAGRAMA LOGICO
MAPA ANALOGO
MAPA LOGICO
GRAFICACIÓN DE DATOS SENSORIALES
GRAFICACIÓN PRESENTACIONAL DE CONJUNTOS DE DATOS
GRAFICACIÓN DE VISUALIZACION COMPUTACIONAL
SEMIGRAFICO
TEXTO

También se podría pensar en pedir a los autores que incluyan otros metadatos en los propios archivos gráficos para, al descontextualizar una imagen, contar con toda la información necesaria sobre su técnica de producción y significado en el contexto de origen y los metadatos clasificatorios podrían servir incluso para búsquedas especializadas a partir de las imágenes contenidas en un texto.

7.2 Las perspectivas

Los resultados del análisis multivariado permitieron afirmar que es posible hacer inferencias a partir de las ilustraciones contenidas en los artículos científicos. Se pudo establecer una correlación estrecha entre el enfoque metodológico de una

investigación y los tipos de ilustraciones con sus técnicas específicas involucradas en su producción. Al mismo tiempo se pudo apreciar que las exclusiones también son una fuente interesante a explorar. Una categorización parecida se podría hacer para las diferentes especialidades en lo que se refiere a la predominancia de algún tipo en sus publicaciones, previa exclusión de casos anómalos por completo, así como de aquellos artículos con valores extremos que distorsionan el panorama generalizado. Nuevos enfoques de clasificación y reconocimiento de patrones como el de las redes neuronales, podrían hacer mucho y tal vez servirían para vencer la dificultad de clasificación frente a la imperante interdisciplinariedad de las investigaciones.

Los resultados de la presente investigación también podrían insertarse en discusiones sobre la ciencia misma. Las citadas afirmaciones de Smith y otros acerca de una correlación entre la utilización de imágenes pictóricas o graficaciones y el grado de “blandura” o “dureza” de una ciencia respectivamente, se podrían cuestionar mediante una nueva hipótesis para las ciencias biológicas: ya no es válida una simple dicotomía *picture vs graph*, sino lo que hace la diferencia es qué tipo de imagen pictórica y qué tipo de imagen lógica.

Pero los resultados no son de utilidad únicamente para los estudios de la ciencia. También pueden enriquecer los estudios bibliométricos y cienciométricos. Es sugerente explorar si existe una relación entre citas e ilustraciones o entre frecuencias de consultas e ilustraciones. También se podría estudiar aspectos relacionados con la productividad científica al considerar las imágenes científicas

como productos de investigación, así como adentrarse en el mundo de la colaboración científica en lo que a la producción de imágenes científicas se refiere. Otras investigaciones podrían profundizar acerca de los tipos de ilustraciones y su densidad de información y complejidad con enfoques matemáticos que consideran no solamente la cantidad de componentes que contiene una imagen, sino incorporen aspectos como capacidad de compresión o fractalidad de las imágenes.

Pero también sería fructífero poner más atención al autor mismo de los artículos. Es menester resaltar que en la era digital existe nuevamente una mayor intervención de los científicos en la producción de ilustraciones. En los laboratorios mismos colaboran especialistas en la producción de material visual entre ellos el experto en *imaging*. Esta colaboración produce cambios recíprocos en las disciplinas participantes y causa cambios en la manera de hacer ciencia y de comunicarla. Podemos concluir que la imagen científica en la era digital es un producto colectivo y multidisciplinario producido en el laboratorio tanto húmedo como seco y en cuyo producto final intervinieron muchas posibles personas: el técnico que manipula los aparatos, los diseñadores de *software* que cada vez más ponen atención a cuestiones de diseño y el científico mismo que, ya sin el intermediario que era el ilustrador, decide como quiere que se vean sus propias ilustraciones que se publicarán, tomando decisiones sobre formas, metáforas y colores. No es soslayable que a los científicos 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*) para atraer

fondos para la investigación. La mayor inclusión de ilustraciones y sobre todo las nuevas imágenes resultantes de técnicas computacionales ayudan a visibilizar³ a la ciencia, sus aportes y sus descubrimientos para un público más amplio y 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 para impresionar y convencer -también a sus pares- y no solamente para comunicar neutralmente.

7.3 Recapitulando o los “nuevos ojos” de Proust

Asignar a la imagen visual su merecido reconocimiento como fenómeno específico y complejo, capaz de ser portadora eficiente de información mediante sus propios medios (en interacción con un texto o no) puede aportar nuevas miradas a muchos campos estudiados por la bibliotecología y los estudios de la información. Pensemos solamente en los estudios sobre la sociedad de la información, inconcebible sin el peso de lo visual en todos los ámbitos; las bibliotecas digitales y su potencial de proporcionar servicios de información visual y, no por último, la promoción a la lectura que, previa a una necesaria alfabetización visual, incluya la promoción a la lectura de imágenes que ayudaría a grandes sectores de la población a tener la capacidad de descifrar los mensajes que, mediante las imágenes, envían los grandes poderes para dominar al mundo.

³ En el sentido de presencia y valoración, no en términos de divulgación científica.

La presente investigación se propone mirar con “nuevos ojos” una pequeña parte de nuestro mundo, el de las revistas científicas y sus artículos de investigación y hacer una aportación con las siguientes conclusiones que, a su vez, invitan a la reflexión y la polémica:

Las ilustraciones juegan un papel central en los artículos de investigación, al menos en las ciencias biológicas, por su calidad de transmitir información densificada y compleja.

Las “nuevas imágenes” resultantes de las técnicas de procesamiento digital de imágenes, el supercómputo y sus técnicas de visualización, así como las imágenes en movimiento e interactivas tienen el potencial de producir cambios significativos en la comunicación y la publicación de la ciencia e incluso, conjuntamente con otros factores, de generar cambios en el modo de hacer ciencia y todo ello, por ser parte del proceso mismo de la investigación.

Las ilustraciones constituyen un recurso privilegiado por los autores ya que tratan de evadir las limitaciones de espacio que fijan las políticas editoriales.

No está garantizado el acceso intelectual a las ilustraciones en los artículos científicos pues en ocasiones no se hallan bien clasificadas y en otros casos tampoco se cuenta con el acceso físico puesto que no forman parte del artículo en texto completo que se ofrece (caso EBSCO).

Para ser entes recuperables de manera eficiente, es menester un buena clasificación (metadatos descriptivos) de las ilustraciones.

Para poder ser interpretadas a profundidad, las ilustraciones, en ambiente electrónico, deberían contar con ligas directas a los textos que especifican las técnicas de su producción (sección de metodología).

Los servicios de información deben garantizar tanto el acceso eficiente a las ilustraciones como así como el cuidado de la calidad visual del documento donde color es sumamente importante.

Las diferentes lecturas de un artículo científico y sus ilustraciones sugieren que un hipertexto de este tipo se lea de manera más secuencial que el mismo artículo impreso.

Existe una correlación fuerte entre los tipos de ilustración que contiene un artículo dado y el enfoque metodológico seguido en la investigación que se reporta.

Y, por último, el análisis estadístico multivariado, en su vertiente de análisis de cúmulos, permite detectar tipos ideales de artículos de los distintos enfoques metodológicos, lo que da pautas para nuevas exploraciones de cómo afrontar los problemas de clasificación detectados y buscar nuevas opciones de acercamiento a la solución de los mencionados problemas por medio de las imágenes.

8. BIBLIOGRAFIA CITADA

American National Standards Institute, *ANSI 3.2 Z39.16*, Washington: ANSI, 1972 y 1979.

AACR2 (1978): *Anglo-American Cataloging Rules/* prepared by the American Library Association, the British Library, the Canadian Committee on Cataloging, the Library Association, the Library of Congress. Edited by Michael Gorman and Paul W. Winkler, Chicago: American Library Association, 2a. ed., 1978.

AACR2 (1983): *Reglas de Catalogación Anglo-Americanas/* preparadas por The American Library Association, the British Library, the Canadian Committee on Cataloging, the Library Association, the Library of Congress. Editadas en español por Carmen Rovira, Washington, D.C.: Organización de los Estados Americanos; San José, C.R.: Universidad de COSTA Rica, 2a. ed., 1983.

AACR2 (2004): *Reglas de Catalogación Anglo-Americanas/* preparadas bajo la dirección del Joint Steering Committee for Revision of AACR2, un comité de la American Library Association, the Australian Committee on Cataloging, The British Library, The Chartered Institute of Library and Information Professionals, the Library of Congress. Traducción y revisión general por Margarita Amaya de Heredia, 2a. ed., revisión de 2002, actualización de 2003, Bogotá, D.C.: Rojas Eberhard Ediciones Ltda., 2004.

Aparici, Roberto y Agustín García-Matilla, *Lectura de imágenes*, Madrid: Ediciones de la Torre, 1998.

Arnheim, Rudolf, *El pensamiento visual*, Buenos Aires: EUDEBA, 1976.

Aumont, Jacques, *La imagen*, Barcelona: Paidós, 1992.

Baigrie, Brian S. (ed.), *Picturing knowledge. Historical and philosophical problems concerning the use of art in science*, Toronto: University of Toronto Press, 1996.

Bailey, Kenneth D., *Typologies and taxonomies. An introduction to classification techniques*, Thousand Oaks, London, New Dehli: Sage, 1994 (Series: Quantitative Applications in the Social Sciences, 102).

Bear, Jacci Howard, "Your guide to desktop publishing" (consultado en <http://desktoppub.about.com> el 15 de septiembre de 2005).

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

Benz, Arnold, "Das Bild als Bühne der Mustererkennung", en Heintz, Bettina y Jörg Huber (eds.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich: ITH-Voldemeer/Wien: Springer, 2001, pp. 65-78.

Bertin, Jacques, *Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes*, Paris, La Haye: Mouton, Gauthier-Villars, 1967.

Boehm, Gottfried, "Die Wiederkehr der Bilder", en Boehm, Gottfried (ed.), *Was ist ein Bild?*, München: Fink, 1994, pp. 11-38.

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, pp. 43-54.

Bourdieu, Pierre, *Razones prácticas. Sobre la teoría de la acción*, Barcelona: Anagrama, 1997.

Boyce, Peter; King, Donald W.; Montgomery, Carol y Carol Tenopir, "How electronic journals are changing patterns of use", en *The Serial Librarian*, vol. 46, núm. 1/2, 2004, pp. 121-141.

Boyce, P. y Dalterio, H., "Electronic publishing of scientific journals" en *Physics Today*, vol. 49, núm. 42, enero, 1996, pp. 42-47 (consultado en <http://www.aas.org/~pboyce/epubs/> el 6 de abril de 2004).

Bredenkamp, Horst; Fischel, Angela; Birgit, Schneider y Gabriel Werner, "Bildwelten des Wissens", en Bredenkamp, Horst y Gabriele Werner (eds.), *Bildwelten des Wissens. Kunsthistorisches Jahrbuch für Bildkritik*, vol. 1, *Bilder in Prozessen*, Berlin: Akademie Verlag, 2004, pp. 12-15

Card, Stuart; Jack Mackinley y Ben Shneiderman (eds.), *Readings in information visualization. Using vision to think*, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 1999.

Clason, W.E., *Elsevier's dictionary of library science, information and documentation*, Amsterdam: Elsevier, 2a .ed, 1976.

Colle, Raymundo, "El contenido de los mensajes icónicos" en *Revista Latina de Comunicación Social*, núm. 18, junio, 1999 (consultado en <http://www.ull.es/publicaciones/latina/biblio/76coll/76ananim1/aci1.htm> el 5 de abril de 2004).

Corner, John, "Textuality, communication and power", en Davis, Howard y Paul Walton (eds.), *Language, image, media*. Oxford: Basil Blackwell, 1983, pp. 266-281.

Costa, Joan, *Imagen pública. Una ingeniería social*, Madrid: Claves de Comunicación Social, 1992.

Chandler, Daniel, *Semiotics for beginners: encoding/decoding*, 2004. (consultado en <http://www.aber.ac.uk/media/Documents/S4B/sem08c.html> el 10 de diciembre de 2005).

Chandler, Daniel, *The transmission model of communication*, 1994 (consultado en <http://www.aber.ac.uk/media/Documents/short/trans.html> el 10 de diciembre de 2005).

Day, Robert A. (1979), *How to write and publish a scientific paper*, Philadelphia: ISI Press, 1979.

Day, Robert A. (1994) *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 4a. ed., 1994.

Day, Robert A. (1998), *How to write and publish a scientific paper*, Phoenix: The Oryx Press, 5a. ed., 1998.

Day, Robert A. y Barbara Gastel (2006), *How to write and publish a scientific paper*, Westport: Greenwood Press, 6a. ed., 2006.

Descriptive cataloging. Cataloging of rare books, Washington: The Library Corporation, 2a. ed., 1991.

Diccionario Akal de Estética, Madrid: Akal, 1998.

Diccionario de matemáticas, Maidenhead: Edinorma, 11a. reimpr., 1992.

Dürsteler, Juan C., "Gestalt e impulso visual", en *Infovis.net*, mensaje num. 19, 2000 (consultado en <http://www.infovis.net> el 4 de septiembre de 2002).

Eysenck, Michael W. y Mark T. Keane, "Cognition and emotion", Capítulo 18, *Cognitive psychology: A students handbook*, London: Psychology Press, 5a. ed, 2005.

Feeney, Aidan; Ala K.W. Holo; Simon P. Liversedge; John M. Findlay y Robert Metcalf, "How people extract information from graphs: evidence from a sentence-graph verification paradigm", 2000 (consultado en <http://www.dur.ac.uk/aidan.feeney/PDFs/Diagrams2000.pdf> el 4 de abril de 2005).

Ford, Brian J., "Images imperfect, the legacy of scientific illustration", en *1996 Yearbook of Science and the Future*, Chicago: Encyclopedia Britannica, 1996, pp. 134-157.

Ford, Brian J., *Images of science: a history of scientific illustration*, New York: Oxford University Press, 1993.

Frenkel, Felice, "Technology enables new scientific images to emerge", en *Nieman Reports*, otoño, 2002, pp. 29-31.

Friendly, Michael y Daniel J. Denis, "Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization", octubre 2005 (consultado en <http://www.math.york.ca/SCS/Gallery/milestone> el 25 de octubre de 2005).

Furlong, Michelle, "How to critically read a scientific paper", *Biocomputing*, Fall 2001 (consultado en

<http://a.clayton.edu/cauthen/BIOL3200/Admin/How%20to%20Read%20a%20Scientific%20Paper.doc> el 30 de marzo de 2003).

Garfield, Eugene, "The 170 surviving journals that CC would have covered 100 years ago", en *Essays of an Information Scientist*, vol. 10, Philadelphia: ISI Press, 1987, pp. 164-173.

Garfield, Eugene, "The significant scientific literature appears in a small core of journals", en *The Scientist*, vol. 10, núm. 17, 2 de septiembre, 1996, pp. 13 y 16.

Giere, Ronald N., "Visual models and scientific judgement", en Baigrie, Brian S. (ed.), *Picturing knowledge. Historical and philosophical problems concerning the use of art in science*, Toronto: University of Toronto Press, 1996, pp. 269-302.

Goodman, Nelson, *Languages of art: an approach to a theory of symbols*, Indianapolis: Hackett Publishing Company, 2a. ed., 1976.

Gould, Stephen Jay, "A tale of three pictures", en *Human Nature*, vol. 97, núm. 5, 1988, pp. 14-21.

Grinnell, Frederick, "The practice of science at the edge of knowledge", en *The Chronicle of Higher Education*, 24 de marzo, 2000 (consultado en <http://www.moldreporter.org/vol1no2/pracScience> 15 de noviembre de 2006).

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.

Hall, Bert S., "The didactic and the elegant, in: Baigrie, Brian S. (ed.), *Picturing knowledge. Historical and philosophical problems concerning the use of art in science*, Toronto: University of Toronto Press, 1996, pp. 3-39.

Hall, Stuart, "Encoding/decoding", en Centre for Contemporary Cultural Studies (ed.), *Culture, media, language: working papers in cultural studies, 1972-79*, London: Hutchinson, 1980, pp. 128-38.

Heinemann, W., "Textsorten. Zur Diskussion um Basisklassen des Kommunizierens. Rückschau und Ausblick", en Adamzik, K. (ed.), *Textsorten. Reflexionen und Analysen*, Tübingen: Stauffenburg, 2000.

Heintz, Bettina y Jörg Huber (eds.), *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Welten*, Zürich: ITH-Voldemeer/Wien: Springer, 2001.

Institute for Scientific Information (ISI), *Journal Citation Reports y Journal Performance Indicators* en <http://scientific.thompson.com/products/jrc>.

Ivins jr., William M., *Prints and visual communication*, Cambridge, Mass/London: MIT, 8a. ed., 1992.

Jones, Caroline A. y Peter Galison (eds.) *Picturing science, producing art*, London: Routledge, 1998.

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.

Kemp, Martin, *Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene*, Köln: Dumont, 2003.

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

Kluge, Susanne, "Empirisch begründete Typenbildung in der qualitativen Sozialforschung", en *Forum: Qualitative Sozialforschung. Theorien, Methoden, Anwendungen*, vol. 1, núm 1, 2000 (consultado en <http://qualitative-research.net/fqs> el 15 de marzo de 2003).

Kosslyn, S.M., "Understanding charts and graphs", en *Applied Cognitive Psychology*, vol. 3, 1989, pp. 185-226.

Kress, Gunther y Theo van Leeuwen, *Reading images. The grammar of visual design*, London: Routledge, 1996.

Krieger, Peter, "Investigaciones estéticas sobre las ilustraciones científicas", en *Ciencia*, vol. 53, núm. 4, octubre-diciembre, 2002, pp. 72-78.

Levin, David Michael (ed.), *Sites of vision. The discursive construction of sight in the history of philosophy*, Cambridge, Mass. y London: MIT, 1999.

Levin, J. R., Anglin, G. J. y Carney, R. N., "On empirically validating functions of pictures in prose", en M. W. Dale y A. H. Harvey (eds.), *The psychology of illustrations*, vol. 1, New York: Springer Verlag, 1987, pp. 51-86.

Lewandowski, Theodor, *Diccionario de Lingüística*, Madrid: Cátedra, 1982.

Library of Congress, *Thesaurus for Graphic Material II: Genre & Physical Characteristic Terms (TGMII)* (consultado en <http://lcweb.gov> el 23 de abril de 2003.).

Lohse, Gerald Lee et al., "A classification of visual representations", en *Communications of ACM*, vol. 37, núm. 12, diciembre de 1994, pp. 36-49.

Lohse, Gerald Lee y Neff Walker, "Classifying graphical knowledge", en *Encyclopedia of Library and Information Science*, vol. 53, Supplement 16, New York: Marcel Dekker, 1993, pp. 38-82.

Lynch, Michael y Steve Woolgar (eds.), *Representation in scientific practice*, Cambridge: MIT, 1990.

Lynch, Michael, "The externalized retina: selection and mathematization in the visual documentation of objects in the life sciences", en Lynch, Michael y Steve Woolgar (eds.), *Representation in scientific practice*, Cambridge: MIT, 1990, pp. 153-186.

Mahoney, Diana Phillips, "Unlocking the mysteries of science", en *Computer Graphics World*, vol. 7, núm. 18, julio, 1995, pp. 22-33.

Martínez de Sousa, José, *Diccionario de Bibliología y Ciencias Afines*, Somonte-Cenero: Trea, 3a. ed., 2004.

Mayer, R. E., "Illustrations that instruct", en R. Glaser (ed.), *Advances in Instructional Psychology*, vol. 10, Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1993, pp. 253-284.

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. I.; De Fanti, T.A. y M.D. Brown, "Visualization in scientific computing", en *Computer Graphics*, vol. 21, núm 6, noviembre, 1987, pp. 1-14.

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.

Moles, Abraham A., *La imagen. Comunicación funcional*, México: Trillas, Sigma, 1991 (reimpr. 1999).

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.

Montgomery, S., *The scientific voice*, New York: The Guilford Press, 1996.

Münch, Dieter, "Geschichtlichkeit als Grundkategorie der Bildwissenschaft", en Klaus-Sachs-Hombach (ed.), *Bildhandeln. Interdisziplinäre Forschungen zur Pragmatik bildhafter Darstellungsformen*, Magdeburg: Scriptorum, 2001, pp. 101-125 (Serie: Bildwissenschaft, 3).

Nature, "Nature guide to authors. Publication policies, author guidelines and information" en *Nature*, vol. 421, 30 de enero, 2003, p. 556.

Nature, "Guide to Nature and its related journals" (consultado en <http://www.nature.com/nature/author/natureguide.htm> el 30 de noviembre de 2001).

Nature Methods, "A picture worth a thousand words (of explanation)", en *Nature Methods*, vol. 3, núm. 4, abril 2006, p. 237.

Nöth, Winfred, *Handbuch der Semiotik*, Stuttgart: Metzler, 2a. ed. rev., 1999 (consultado en <http://uni-kassel.de/fb8/privat/noeth/handbuch/> el 4 de marzo 2005).

O'Hara, Kenton y Abigail Sellen, "A comparison of reading paper and on-line documents", en *CHI 97, 22-27 march 1997*, Atlanta, 1997, pp. 335-432.

Paivio, Allen, *Imagery and verbal processes*, New York: Holt, Rinehart, and Winston, 1971.

Pang, Alex Soojung-Kim, "Visual representation and post-constructivist history of science", en *Historical Studies in the physical and biological sciences*, vol. 28, 1997, pp. 139-171.

Parthey, Heinrich, "Publikation und Bibliothek in der Wissenschaft", en *Wissenschaft und digitale Bibliothek: Wissenschaftsforschung Jahrbuch 1998*, Berlin: Gesellschaft für Wissenschaftsforschung, 2000, pp. 67-89.

Pinker, S., "A theory of graph comprehension" en Freedle, R. (ed.), *Artificial intelligence and the future of testing*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Ltd., 1990, pp. 73-126.

Real Academia Española, *Diccionario de la Lengua Española*, Madrid: REA, 22a. ed., 2001.

Rebers, John, *Biology 495. Biology of cancer. Course Syllabus Fall 2001* (consultado en <http://www.instruct.nmu.edu/~jrebers/syllabus.htm> el 30 de marzo de 2003)

Reitz, Joan M., *Dictionary of Library and Information Science*, Westport-London: Librarian Unlimited, 2004.

Robin, Harry, *Die wissenschaftliche Illustration. Von der Höhlenmalerei zur Computergraphik*, Basel: Birkhäuser, 1992.

Rorty, Richard (ed.), *The linguistic turn: recent essays in philosophical method*, Chicago: University of Chicago Press, 1967.

Rudwick, M., "The emergence of a visual language for geological sciences", en *History of Science*, núm. 14, 1976, pp. 148-195.

Russell, Jane M., "La comunicación científica a comienzos del siglo XXI" [2001] (consultado en <http://oei.es/salactsi/russel.pdf> el 25 de septiembre de 2005). Originalmente publicado en inglés como "Scientific communication at the beginning of the 21st century", en *International Social Science Journal*, núm. 168, 2001, pp. 271-282.

Russell, Jane M.; J. Antonio Del Río y Héctor D. Cortés, "Highly visible science: a look at three decades of research from Argentina, Brazil, Mexico, and Spain", *Interciencia*, vol. 32, núm. 9, 2007, pp. 629-634.

Sachs-Hombach, Klaus, *Das Bild als Medium. Elemente einer allgemeinen Bildwissenschaft*, Köln: Herbert von Halem Verlag, 2003.

Sachs-Hombach, Klaus, "Bild und Prädikation", en Klaus Sachs-Hombach (ed.), *Bildhandeln. Interdisziplinäre Forschungen zur Pragmatik bildhafter Darstellungsformen*, Magdeburg: Scriptorum, 2001, pp. 55-76 (Serie: Bildwissenschaft, 3).

Sachs-Hombach, Klaus, "Konzeptionelle Rahmenüberlegungen zur interdisziplinären Bildwissenschaft", en Klaus Sachs-Hombach (ed.),

Bildwissenschaft. Disziplinen, Themen, Methoden, Frankfurt a/M: Suhrkamp, 2005, pp. 11-20.

Schelske, Andreas, "Visuell kommunikatives Handeln mittels Bildern", en Klaus-Sachs-Hombach (ed.), *Bildhandeln. Interdisziplinäre Forschungen zur Pragmatik bildhafter Darstellungsformen*, Magdeburg: Scriptorum, 2001, pp. 149-158. (Serie: Bildwissenschaft, 3).

Schnotz, Wolfgang, "Wissenserwerb mit logischen Bildern", en Bernd Weidenmann (ed.), *Wissenserwerb mit Bildern*, Bern: Hans Huber, 1994, pp. 95-147.

Schuck-Wersig, Petra y Gernot Wersig, "Das kommunikative Potential des Bildes", ponencia en el Coloquio "Kommunikative Funktionen des Bildgebrauchs im Recht", Lehrstuhl für Rechtssoziologie und Rechtsphilosophie der Ruhr-Universität, Bochum, 29-30 de junio, 2001 (consultado en <http://www.kommwiss.fu-berlin.de/427.html> 15 de abril 2004).

Science, "2003 information for contributors", en *Science*, vol. 299, 3 de enero, 2003, pp. 124-125.

Seglen, Per O., "Quantification of scientific article contents", en *Scientometrics*, vol. 35, núm. 3, 1996, pp. 355-366.

Shannon, Claude E., "A mathematical theory of communication", en *Bell System Technical Journal*, núm. 27, 1948, pp. 379-423, 623-656.

Shannon, Claude E. y Warren Weaver, *The mathematical theory of communication*, Urbana: The University of Illinois Press, 1949.

Smith, C.U.M., *El problema de la vida. Ensayo sobre los orígenes del pensamiento biológico*, Madrid: Alianza Universidad, 1977.

Smith, Douglas, "Molecular Biology IBM 100. Fall, 2000. Journal articles", consultado en <http://www-biology.ucsd.edu/classes/old.web.classes/bimm100.FA00/articles.html> el 30 de marzo de 2003).

Smith, Laurence D.; Best, Lisa A.; Stubbs, A. Alan, Johnston, John y Andrea Bastiani Archibald, "Scientific graphs and the hierarchy of sciences: a Latourian survey of inscription practices", en *Social Studies of Science*, vol. 30, núm. 1, febrero, 2000, pp. 73-94.

Sturken, M. y Cartwright, L., "Scientific looking, looking at science", Capítulo 8, *Practices of looking: an introduction to visual culture*, New York: Oxford University Press, 2001.

Supplee, Curt y Monica Bradford, "Science and engineering visualization challenge: Visualization and the communication of science", en *Science*, vol. 301, núm. 5639, 12 de septiembre, 2003, pp. 1472 -1476.

Tenopir, Carol y Donald. W. King, "Reading behaviour and electronic journals" en *Learned Publishing*, vol. 15, núm. 4, 1 de octubre 2002, pp. 259-265.

Tenopir, Carol; Donald W. King; Peter Boyce y Matt Grayson, "Patterns of journal use by scientistst through three evolutionary phases", en *D-Lib Magazine*, vol. 9, núm 5, mayo, 2003.

Tenopir, Carol (con Branda Hickcock y Ashley Pillow), "Use and users of electronic library resources: An overview and análisis of recent studies. A summery of a report published by the Council on Library and Information Resources", agosto de 2003 (consultado en <http://clir.org/pubs/execsum/sum120.html> el 30 de enero de 2007).

Topper, David, "Towards an epistemology of scientific illustration", en Baigrie, Brian S. (ed.), *Picturing knowledge. Historical and philosophical probems concerning the use of art in science*, Toronto: University of Toronto Press, 1996, pp. 215-249.

Trafton, J. Gregory; Trickett, Susan B. y Farilee E. Mintz, "Connecting internal and external representations: spatial transformation of scientific visualizations", en *Foundations of Science*, núm. 10, 2005, pp. 89-106.

Tufte, Edward R. *The visual display of quantitative information*, Cheshire, CT: Graphics Press, 16a. reimpr., 1998.

UNESCO, *Guide for the preparation of scientific papers for publication.*, Paris: UNESCO, 29 de agosto de 1968 (SC/MD/5)..

Villafañe, Justo, *Introducción a la teoría de la imagen*, Madrid: Pirámide, 1985.

Ware, C., *Information visualization: perception for design*, San Francisco, CA: Morgan Kaufmann, 2000.

Web of Science en <http://scientific.thomson.com/products/wos/>.

Webster's Ninth New International Dictionary, Springfield: Merriam-Webster, 2002.

Weidenmann, Bernd, "Informierende Bilder" en Bernd Weidenmann (ed.), *Wissenserwerb mit Bildern*, Bern: Hans Huber, 1994, pp. 9-58.

Wikipedia (en español) en <http://es.wikipedia.org>

Wikipedia (en ingles) en <http://en.wikipedia.org>

Winn, William, "Color in document design", en *IEEE Transactions of Professional Communication*, vol. 34, núm. 3, septiembre, 1991, pp. 180-185.

Zhang, J. , "The nature of external representations in problem solving", en *Cognitive Science*, núm. 21, 1997, pp. 179-217.

9. ANEXOS

9.1 LISTADO DE ARTICULOS ANALIZADOS

	ARTÍCULO	ESPECIALIDAD ¹²	METODO ³
1	Parmesan, Camille & Yohe, Gary, "A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems" <i>Nature</i> , 421(6918), 2 january 2003, 37-42.	ATMOS	experimental
2	Keeling, M.J. et al., "Modelling vaccination strategies against foot-and-mouth disease", <i>Nature</i> , 421(6919), 9 january 2003, 136-142.	MED	teórico
3	Kamath, Ravi S. et al., "Systematic functional analysis of the <i>Caenorhabditis elegans</i> genome using RNAi", <i>Nature</i> , 421(6920), 16 january 2003, 231-237.	MOL	experimental [bioinformático]
4	Xu, Xing et al., "Four-winged dinosaurs from China", <i>Nature</i> , 421(6921), 23 january 2003, 335-340.	PAL	naturalista
5	Bakkenist, Christopher J. & Kastan, Michael B., "DNA damage activates ATM through intermolecular autophosphorylation and dimer dissociation ", <i>Nature</i> , 421(6922), 30 january 2003, 499-506.	BQ	experimental
6	Heilig, Roland et al., "The DNA sequence and analysis of human chromosome 14", <i>Nature</i> , 421(6923), 6 january 2003, 601-607.	GENO	bioinformático
7	Burgess, Stan A. et al., "Dynein structure and power stroke", <i>Nature</i> , 421(6924), 13 january 2003, 715-718.	CEL	experimental
8	Forkey, Joseph N. et al., "Three-dimensional structural dynamics of myosin V by single-molecule fluorescence polarization", <i>Nature</i> , 422(6930), 27 march 2003, 399-404.	MOL	experimental

¹ Véase clasificación en el Anexo 9.4

² La reclasificación de los artículos aparece entre corchetes

³ La reclasificación de los artículos aparece entre corchetes

9	Lyon, Bruce E. "Egg recognition and counting reduce costs of avian conspecific brood parasitism", <i>Nature</i> , 422(6931), 3 april 2003, 495-499.	ECO	experimental
10	Yoshikawa, Shingo et al., "Wnt-mediated axon guidance via the <i>Drosophila</i> derailed receptor", <i>Nature</i> , 422(6932), 10 april 2003, 583-588.	BQ	experimental
11	Pluchino, Stefano et al., "Injection of adult neurospheres induces recovery in a chronic model of multiple sclerosis", <i>Nature</i> , 422(6933), 17 april 2003, 688-694.	NEU	experimental
12	Galagan, James E. et al., "The genome sequence of the filamentous fungus <i>Neurospora crassa</i> ", <i>Nature</i> , 422 (6934), 24 april 2003, 859-868.	GENO	bioinformático
13	Jiang, Youxing et al., "X-ray structure of a voltage-dependent K ⁺ channel", <i>Nature</i> , 423(6935), 1 may 2003, 33-41.	BFIS	experimental
14	Jiang, Youxing et al., "The principle of gating charge movement in a voltage-dependent K ⁺ channel", <i>Nature</i> , 423(6935), 1 may 2003, 42-48.	BFIS	experimental
15	Liu, Yingfang et al., "Ligand-receptor binding revealed by the TNF family member TALL-1", <i>Nature</i> , 423(6935), 1 may 2003, 49-56.	BQ	experimental
16	Lenski, Richard E. et al., "The evolutionary origin of complex features", <i>Nature</i> , 423(6936), 8 may 2003, 139-144.	EVO	teórico
17	Richmond, Timothy J. & Davey, Curt A. "The structure of DNA in the nucleosome core", <i>Nature</i> , 423(6936), 8 may 2003, 145-150.	MOL	bioinformático [experimental]
18	Kells, Manolis et al., "Sequencing and comparison of yeast species to identify genes and regulatory elements", <i>Nature</i> , 423(6937), 15 may 2003, 241-254.	GENO	bioinformático

19	Lessard, Julie & Sauvageau, Guy. "Bmi-1 determines the proliferative capacity of normal and leukaemic stem cells", <i>Nature</i> , 423(6937), 15 may 2003, 255-260.	GENE	experimental
20	Ölveczky, Bence P. et al., "Segregation of object and background motion in the retina", <i>Nature</i> , 423(6938), 22 may 2003, 401-408.	NEU	experimental
21	Reya, Tannishtha et al., "A role for Wnt signalling in self-renewal of haematopoietic stem cells", <i>Nature</i> , 423(6938), 22 may 2003, 409-414.	BQ	experimental
22	Ueda, Hironori et al., "Association of the T-cell regulatory gene <i>CTLA4</i> with susceptibility to autoimmune disease", <i>Nature</i> , 423(6939), 29 may 2003, 506-511.	INM	experimental
23	Li, Dawei et al., "Structure of the replicative helicase of the oncoprotein SV40 large tumour antigen", <i>Nature</i> , 423(6939), 29 may 2003, 512-518.	BQ	experimental
24	Gandhi, Sunil P. & Stevens, Charles F. "Three modes of synaptic vesicular recycling revealed by single-vesicle imaging", <i>Nature</i> , 423(6940), 5 june 2003, 607-613.	NEU	experimental
25	Herr, Andrew B. et al., "Insights into IgA-mediated immune responses from the crystal structures of human Fc α RI and its complex with IgA1-Fc", <i>Nature</i> , 423(6940), 5 june 2003, 614-620.	INM	experimental
26	Presgraves, Daven C. et al., "Adaptive evolution drives divergence of a hybrid inviability gene between two species of <i>Drosophila</i> ", <i>Nature</i> , 423(6941), 12 june 2003, 715-719.	EVO	experimental
27	Kanemaki, Masato et al., "Functional proteomic identification of DNA replication proteins by induced proteolysis <i>in vivo</i> ", <i>Nature</i> , 423(6941), 12 june 2003, 720-724.	BQ	experimental
28	Skaletsky, Helen et al., "The male-specific region of the human Y chromosome is a mosaic of discrete sequence classes", <i>Nature</i> , 423(6942), 19 june 2003, 825-837.	GENO	bioinformático

29	Kawasaki, Hiroaki & Taira, Kazunari. "Hes1 is a target of microRNA-23 during retinoic-acid-induced neuronal differentiation of NT2 cells", <i>Nature</i> , 423(6942), 19 june 2003, 838-842.	GENE	experimental
30	Missler, Markus et al., " α -Neurexins couple Ca^{2+} channels to synaptic vesicle exocytosis vesicle exocytosis", <i>Nature</i> , 423(6943), 26 june 2003, 939-948.	BQ	experimental
31	Miyazawa, Atsuo et. al., "Structure and gating mechanism of the acetylcholine receptor pore", <i>Nature</i> , 423(6943), 26 june 2003, 949-955.	BQ	experimental
32	Takeda, Soichi et al., "Structure of the core domain of human cardiac troponin in the Ca^{2+} -saturated form", <i>Nature</i> , 424(6944), 3 july 2003, 35-41.	BQ	experimental
33	Hillier, LaDeana W. et al., "The DNA sequence of human chromosome 7", <i>Nature</i> , 424(6945), 10 july 2003, 157-164.	GENO	bioinformático
34	Murphy, Coleen T. et al., "Genes that act downstream of DAF-16 to influence the lifespan of <i>Caenorhabditis elegans</i> ", <i>Nature</i> , 424(6946), 17 july 2003, 277-284.	GENE	experimental [teórico]
35	Serini, Guido et al., "Class 3 semaphorins control vascular morphogenesis by inhibiting integrin function", <i>Nature</i> , 424(6947), 24 july 2003, 391-397 (Errata: <i>Nature</i> , 424(6951), 21 august 2003, 974)	DES	experimental
36	Pasterkamp, R. Jeroen et al., "Semaphorin 7A promotes axon outgrowth through integrins and MAPKs", <i>Nature</i> , 424(6947), 24 july 2003, 398-405.	DES	experimental
37	Takaoka, Akinori et al., "Integration of interferon- α/β signalling to p53 responses in tumour suppression and antiviral defence", <i>Nature</i> , 424(6948), 31 july 2003, 516-523.	BQ	experimental
38	Yonekura, Koji et al., "Complete atomic model of the bacterial flagellar filament by electron cryomicroscopy", <i>Nature</i> , 424(6949), 7 august 2003, 643-650.	BQ	bioinformático [experimental]

39	Hoebe, K. et al., "Identification of <i>Lps2</i> as a key transducer of MyD88-independent TIR signalling", <i>Nature</i> , 424(6950), 14 august 2003, 743-748.	GENE	experimental
40	Palatnik, Javier F. et al., "Control of leaf morphogenesis by microRNAs", <i>Nature</i> , 425(6955), 18 september 2003, 257-263.	DES	experimental
41	Parker, Geoff A. et al., "Evolution of complex life cycles in helminth parasites", <i>Nature</i> , 425(6957), 2 october 2003, 480-484.	ECO	teórico
42	Radutoiu, Simona et al., "Plant recognition of symbiotic bacteria requires two LysM receptor-like kinases", <i>Nature</i> , 425(6958), 9 october 2003, 585-592.	BQ	experimental
43	Hu, Won-Ki et al., "Global analysis of protein localization in budding yeast", <i>Nature</i> , 425(6959), 16 october 2003, 686-691.	CEL	experimental
44	Rokas, Antonis et al., "Genome-scale approaches to resolving incongruence in molecular phylogenies", <i>Nature</i> , 425(6960), 23 october 2003, 798-804.	EVO	teórico
45	Mungall, A.J. et al., "The DNA sequence and analysis of human chromosome 6", <i>Nature</i> , 425(6960), 23 october 2003, 805-811.	GENO	bioinformático
46	Gong, Shiaoqing et al., "A gene expression atlas of the central nervous system based on bacterial artificial chromosomes", <i>Nature</i> , 425(6961), 30 october 2003, 917-925.	GENO	teórico [experimental]
47	Dasen, Jeremy S. et al., "Motor neuron columnar fate imposed by sequential phases of Hox-c activity", <i>Nature</i> , 425(6961), 30 october 2003, 926-933.	GENE	experimental

48	Pebay-Peyroula, Eva et al., "Structure of mitochondrial ADP/ATP carrier in complex with carboxyatractyloside", <i>Nature</i> , 426(6962), 6 november 2003, 39-44.	BQ	experimental
49	Friml, Jiří. et. al., "Efflux-dependent auxin gradients establish the apical-basal axis of <i>Arabidopsis</i> ", <i>Nature</i> , 426(6963), 13 november 2003, 147-153.	DES	experimental
50	Li, Xue et al., "Eye protein phosphatase activity regulates Six1-Dach-Eya transcriptional effects in mammalian organogenesis", <i>Nature</i> , 426(6964), 20 november 2003, 247-254.	BQ	experimental
51	Reinhardt, Didier et al., "Regulation of phyllotaxis by polar auxin transport", <i>Nature</i> , 426(6964), 20 november 2003, 255-260.	DES	experimental
52	Stroebel, David et al., "An atypical haem in the cytochrome <i>b₆f</i> complex", <i>Nature</i> , 426(6965), 27 november 2003, 413-418	BQ	experimental
53	Renault, Loui et al., "Structural snapshots of the mechanism and inhibition of a guanine nucleotide exchange factor", <i>Nature</i> , 426(6966), 4 december 2003, 525-530.	MOL	experimental
54	August, J.L. et al., "Centre-surround inhibition among olfactory bulb glomeruli", <i>Nature</i> , 426(6967), 11 december 2003, 623-629.	NEU	experimental
55	Ben-Shem, Adam et al., "Crystal structure of plant photosystem I", <i>Nature</i> , 426(6967), 11 december 2003, 630-635.	MOL	experimental
56	Hanada, Kentaro et al., "Molecular machinery for non-vesicular trafficking of ceramide", <i>Nature</i> , 426(6968), 18/25 december 2003, 803-809.	MOL	experimental
57	Bisley, James W. & Goldberg, Michael E. "Neuronal activity in the lateral intraparietal area and spatial attention", <i>Science</i> , 299(5603), 3 january 2003, 81-86.	NEU	experimental

58	Jiang, Xuejun et al., "Distinctive roles of PHAP proteins and Prothymosin- α in a death regulatory pathway", <i>Science</i> , 299(5604), 10 january 2003, 223-226.	BQ	experimental
59	Ben-Yehuda, Sigal et al., "RacA, a bacterial protein that anchors chromosomes to the cell poles" , <i>Science</i> , 299(5606), 24 january 2003, 532-536.	BQ	experimental
60	Pasare, Chandrashekhar & Medzhitov, Ruslan. "Toll pathway-dependent blockade of CD4 ⁺ CD25 ⁺ T cell-mediated suppression by dendritic cells", <i>Science</i> , 299(5609), 14 february 2003, 1033-1036.	BQ	experimental
61	Luo, Minmin et al., "Encoding pheromonal signals in the accessory olfactory bulb of behaving mice", <i>Science</i> , 299(5610), 21 february 2003, 1196-1201.	NEU	experimental
62	James, Leo C. et al., "Antibody multispecificity mediated by conformational diversity", <i>Science</i> , 299(5611), 28 february 2003, 1362-1367.	INM	experimental
63	Igakura, Tadahiko et al., "Spread of HTLV-I between lymphocytes by virus-induced polarization of the cytoskeleton", <i>Science</i> 299(5613), 14 march 2003, 1713-1716.	INM	experimental
64	Lum, Lawrence et al., "Identification of hedgehog pathway components by RNAi in <i>Drosophila</i> cultured cells", <i>Science</i> , 299(5615), 28 march 2003, 2039-2045.	BQ	experimental
65	Dutzler, Raimund et al., "Gating the selectivity filter in CIC chloride channels", <i>Science</i> , 300(5616), 4 april 2003, 108-112.	BFIS	experimental
66	Partridge, T.C. et al., "Lower pliocene hominid remains from Sterkfontein", <i>Science</i> , 300(5619), 25 april 2003, 607-612.	ANT	naturalista

67	Scherer, Stephen W. et al., "Human chromosome 7: DNA sequence and biology", <i>Science</i> , 300(5620), 2 may 2003, 767-772.	GENO	bioinformático
68	Hübner, Karin et al., "Derivation of oocytes from mouse embryonic stem cells", <i>Science</i> , 300(5623), 23 may 2003, 1251-1256.	CEL	experimental
69	Lodowski, David T. et al., "Keeping G proteins at bay: A complex between G protein-coupled receptor kinase 2 and G $\beta\gamma$ ", <i>Science</i> , 300(5623), 23 may 2003, 1256-1262.	BQ	experimental
70	Rota, Paul A. et al., "Characterization of a novel coronavirus associated with Severe Acute Respiratory Syndrome", <i>Science</i> , 300(5624), 30 may 2003, 1394-1399.	VIR	bioinformático
71	Marra, Marco A. et al., "The genome sequence of the SARS-associated coronavirus", <i>Science</i> 300(5624), 30 may 2003, 1399-1404.	GENO	experimental
72	Bjedov, Ivana et al., "Stress-induced mutagenesis in bacteria", <i>Science</i> , 300(5624), 30 may 2003, 1404-1409.	CEL	experimental
73	Janssens, Ivan A. et al., "Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO ₂ emissions", <i>Science</i> , 300(5625), 6 june 2003, 1538-1542.	ATMOS	experimental
74	Zou, Lee & Elledge, Stephen J. "Sensing DNA damage through ATRIP recognition of RPA-ssDNA complexes", <i>Science</i> , 300(5625), 6 june 2003, 1542-1548.	BQ	experimental
75	Shaw, Sidney L. et al., "Sustained microtubule treadmilling in <i>Arabidopsis</i> cortical arrays", <i>Science</i> , 300(5626), 13 june 2003, 1715-1718.	CEL	experimental
76	Elf, Johan et al., "Selective charging of tRNA isoacceptors explains patterns of codon usage", <i>Science</i> , 300(5626), 13 june 2003, 1718-1722.	MOL	experimental

77	Kuo, Anling et al., "Crystal structure of the potassium channel KirBac1.1 in the closed state", <i>Science</i> , 300(5627), 20 june 2003, 1922-1926.	BFIS	bioinformático [experimental]
78	Yildiz, Ahmet et al., "Myosin V walks hand-over-hand: Single fluorophore imaging with 1.5-nm localization", <i>Science</i> , 300(5628), 27 june 2003, 2061-2065.	MOL	experimental
79	Calarese, Daniel A. et al., "Antibody domain exchange is an immunological solution to carbohydrate cluster recognition", <i>Science</i> , 300(5628), 27 june 2003, 2065-2071.	INM	experimental
80	Ruthazer, Edward S. et al., "Control of axon branch dynamics by correlated activity in vivo", <i>Science</i> , 301(5629), 4 july 2003, 66-70.	NEU	experimental
81	Cliften, Paul et al., "Finding functional features in <i>Saccharomyces</i> genomes by phylogenetic footprinting", <i>Science</i> , 301(5629), 4 july 2003, 71-76.	GENO	bioinformático
82	Sampaolesi, Maurilio et al., "Cell therapy of α -Sarcoglycan null dystrophic mice through intra-arterial delivery of mesoangioblasts", <i>Science</i> , 301(5632), 25 july 2003, 487-492.	MED	experimental
83	Abramson, Jeff et al., "Structure and mechanism of the lactose permease of <i>Escherichia coli</i> ", <i>Science</i> , 301(5633), 1 august 2003, 610-615.	BQ	experimental
84	Huang, Yafei et al., "Structure and mechanism of the glycerol-3-phosphate transporter from <i>Escherichia coli</i> ", <i>Science</i> , 301(5633), 1 august 2003, 616-620.	BQ	experimental
85	Santarelli, Luca et al., "Requirement of hippocampal neurogenesis for the behavioral effects of antidepressants", <i>Science</i> , 301(5634), 8 august 2003, 805-809.	NEU	experimental

86	Schramke, Vera & Allshire, Robin. "Hairpin RNAs and retrotransposon LTRs effect RNAi and chromatin-based gene silencing", <i>Science</i> , 301(5636), 22 august 2003, 1069-1074.	GENE	experimental
87	Rieseberg, Loren H. et al., "Major ecological transitions in wild sunflowers facilitated by hybridization", <i>Science</i> , 301(5637), 29 august 2003, 1211-1216.	ECO [GENO]	experimental [bioinformática]
88	Le Roch, Karine G. et al., "Discovery of gene function by expression profiling of the malaria parasite life cycle", <i>Science</i> , 301(5639), 12 september 2003, 1503-1508.	GENE	experimental
89	Multani, Dilbag S. et al., "Loss of an MDR transporter in compact stalks of Maiza <i>br2</i> and Sorghum <i>dw3</i> mutants", <i>Science</i> , 302(5642), 3 october 2003, 81-84.	GENE	experimental
90	Marsicano, Giovanni et al., "CB1 cannabinoid receptors and on-demand defense against excitotoxicity", <i>Science</i> , 302(5642), 3 october 2003, 84-88.	BQ	experimental
91	Stuart, Joshua M. et al., "A gene-coexpression network for global discovery of conserved genetic modules", <i>Science</i> , 302(5643), 10 october 2003, 249-255.	GENO	teórico
92	Matsuo, Takuya et al., "Control mechanism of the circadian clock for timing of cell division in vivo", <i>Science</i> , 302(5643), 10 october 2003, 255-259.	CEL	experimental
93	Hacein-Bey-Abina, S. et al., " <i>LMO2</i> -associated clonal T cell proliferation in two patients after gene therapy for SCID-X1", <i>Science</i> , 302(5644), 17 october 2003, 415-419.	GENE	experimental
94	Yamada, Kayoko et al., "Empirical analysis of transcriptional activity in the <i>Arabidopsis</i> genome", <i>Science</i> , 302(5646), 31 october 2003, 842-846.	GENO	bioinformático
95	Kurisu, Genji et al., "Structure of the cytochrome <i>b₆f</i> complex of oxygenic photosynthesis: Tuning the cavity", <i>Science</i> , 302(5647), 7 november 2003, 1009-1014.	MOL	bioinformático

96	Koechlin, Etienne et al., "The architecture of cognitive control in the human prefrontal cortex", <i>Science</i> , 302(5648), 14 november 2003, 1181-1185.	NEU	experimental
97	Kuhlman, Brian et al., "Design of a novel globular protein fold with atomic-level accuracy", <i>Science</i> , 302(5649), 21 november 2003, 1364-1368.	MOL	experimental
98	Pak, Daniel T.S. & Sheng, Morgan. "Targeted protein degradation and synapse remodeling by an inducible protein kinase", <i>Science</i> , 302(5649), 21 november 2003, 1368-1373.	BQ	experimental
99	Papa, Feroz R. et. al., "Bypassing a kinase activity with an ATP-competitive drug", <i>Science</i> , 302(5650), 28 november 2003, 1533-1537.	BQ	experimental
100	Giot, L. et al., "A protein interaction map of <i>Drosophila melanogaster</i> ", <i>Science</i> , 302(5651), 5 december 2003, 1727-1736.	GENO	bioinformático
101	Luo, Zhe-Xi et al., "An early cretaceous tribosphenic mammal and metatherian evolution", <i>Science</i> , 302(5652), 12 december 2003, 1934-1940.	PAL	naturalista
102	Serizawa, Shou et al., "Negative feedback regulation ensures the one receptor-one olfactory neuron rule in mouse", <i>Science</i> , 302(5653), 19 december 2003, 2088-2094.	NEU	experimental

9.2 FORMATO DE REGISTRO

#ART

DATOS GENERALES DEL ARTICULO	
TITULO:	
PUBLICADO EN:	
Science	Nature
DISCIPLINA/SUBDISCIPLINA:	
Nature: (no es visible)	
Science:	Propia:
ENFOQUE METODOLOGICO:	
Naturalista	Experimental
Teórico	Bioinformático
RELACION TEXTO-IMAGEN-CUADROS	
CANTIDAD DE CONJUNTOS ILUSTRATIVOS:	
CANTIDAD DE CUADROS:	
SUPLEMENTO ELECTRÓNICO (SOM)	
Si	No
CANTIDAD DE CONJUNTOS ILUSTRATIVOS	
CANTIDAD DE CUADROS	

OBSERVACIONES

RELACION CUANTITATIVA TEXTO-IMAGEN (cm²):

Cuerpo (pág.1)	Texto Cuadros Conjunto ilustr.	Imágenes Leyendas
Cuerpo (pág.2)	Texto Cuadros Conjuntos ilustr.	Imágenes Leyendas
Cuerpo (pág.3)	Texto Cuadros Conjuntos ilustr.	Imágenes Leyendas
Cuerpo (pág.4)	Texto Cuadros Ilustrac.	Imágenes Leyendas
Cuerpo (pág.5)	Texto Cuadros Conjuntos ilustr.	Imágenes Leyendas
Cuerpo (pág.6)	Texto Cuadros Conjuntos ilustrac.	Imágenes Leyendas

TOTALES	Texto Cuadros Conjuntos ilustr.	Imágenes Leyendas
COMPONENTES DEL ARTICULO (%)		
Texto Cuadros Conjuntos ilustrativos		Imágenes Leyendas
ANÁLISIS POR CONJUNTO ILUSTRATIVO		
	%Ima	%Ley Contenido
Fig. 1		
Fig. 2		
Fig. 3		
Fig. 4		

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

OBSERVACIONES:

ANÁLISIS DEL SUPLEMENTO ELECTRÓNICO

ANÁLISIS POR CONJUNTO ILUSTRATIVO:

Contenido

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

Fig. 4

Fig. 5

Fig. 6

Fig. 7

Fig. 8

OBSERVACIONES:

9.3 ARTICULO MARCADO

The structure of DNA in the nucleosome core

Timothy J. Richmond & Carl A. Sawley

ETH Zürich, Institute for Molecular Biology and Biophysics, ETH-Münsterberg, CH-8093 Zürich
The authors contributed equally to this work.

The 1.9-Å-resolution crystal structure of the nucleosome core particle containing 147 DNA base pairs reveals the conformation of nucleosomal DNA with unprecedented accuracy. The DNA structure is remarkably different from that in oligonucleotides and non-histone protein–DNA complexes. The DNA base-pair-step geometry has, overall, twice the curvature necessary to accommodate the DNA superhelical path in the nucleosome. DNA segments bent into the minor groove are either kinked or alternately shifted. The unusual DNA conformational parameters induced by the binding of histone protein have implications for sequence-dependent protein recognition and nucleosome positioning and mobility. Comparison of the 147-base-pair structure with two 146-base-pair structures reveals alterations in DNA twist that are evidently common in bulk chromatin, and which are of probable importance for chromatin fibre formation and chromatin remodelling.

DNA in eukaryotic cells is packaged repetitively into nucleosomes by means of extensive association with histone proteins^{1,2}. The hierarchical chromatin structure formed is the genomic substrate relevant to the vital processes of DNA replication, recombination, transcription, repair and chromosome segregation, and to the pathological progression of cancer and viral disease. Although nucleosomal organization of DNA is essentially ubiquitous throughout genomes and generally repressive to gene expression, it also contributes to gene transcription in a gene-specific manner, suggesting that nucleosome positioning in gene promoter regions is important for genuine gene regulation *in vivo*^{3,4}. The question therefore arises of how chromatin structure, in which DNA is normally highly compacted, permits site-specific access to regulatory factors and more extensive exposure to the transcription apparatus.

The answer is likely to require a knowledge of DNA conformation in the nucleosome core. The core comprises 147 base pairs (bp) of DNA and the histone octamer; compared with the nucleosome, it lacks only 10–80 bp of linker DNA arranged to be naked or bound to histone H1. The histone-fold domains of the octamer organize the central 129 of 147 bp in 1.59 left-handed superhelical turns with a diameter only fourfold that of the double helix. The relatively straight 9-bp terminal segments contribute little to the curvature of the complete 1.67-turn superhelix⁵. So far, the site-specific regulatory factors that have been discovered bind the linker or terminal regions of the intact nucleosome. The lack of binding to the central region of the superhelix might simply be a consequence of bending the double helix or, additionally, of unusual DNA conformations induced by histone binding. At least one protein, HIV-1 integrase, does prefer DNA bent around the nucleosome in contrast to naked DNA⁶.

The initiation of DNA-dependent nuclear processes in the context of chromatin implies that nucleosome position is biased by the DNA sequence to facilitate access by initiation factors. Numerous examples of positioned nucleosomes in gene promoter regions have been described both *in vivo* and *in vitro*^{7–11}. Preferential positioning could place factor-binding sequences in nucleosome linker or terminal region DNA. Furthermore, nucleosomes are intrinsically mobile and yield access to their DNA *in vivo*, allowing even RNA polymerase to transcribe nucleosomal DNA without causing dissociation of the histone octamer^{12–15}. *In vivo*, energy-dependent chromatin remodelling factors, targeted by gene regulatory proteins and acting directly on the nucleosome core, augment nucleosome

mobility¹⁶. Their mechanism of action most probably derives from the innate ability of nucleosomes to 'slide' along DNA without releasing it¹⁷.

An accurate, atomic-level description of DNA conformation in the nucleosome core and comparison with naked DNA is essential to an understanding of chromatin properties such as those resulting from nucleosome position and mobility. Previously, the probable sequence-dependent features of nucleosomal DNA were proposed by extrapolation from high-resolution DNA oligonucleotide structures¹⁸. Here, a direct analysis of nucleosome DNA is made, permitted by the high quality of the DNA structure in the 1.9-Å-resolution X-ray structure of the nucleosome core particle (NCP147)^{19,20}, comparable to high-resolution oligonucleotide structures. The persistently tight curvature of nucleosome core DNA causes it to take on conformations not obviously present in oligonucleotides but about which there has been speculation for many years²¹. Furthermore, comparison of the DNA twist values measured for the 147-bp and 146-bp structures with the DNA sequence periodicity found in bulk chromatin indicates that the DNA stretching observed in the nucleosome core is commonplace *in vivo*.

Excess DNA curvature

The ideal DNA superhelix that best fits the NCP147 DNA was constructed from uniformly distributed base pairs by using B-form DNA geometry. It has a radius of 41.9 Å and a pitch of 23.8 Å (Fig. 1a). Each base-pair step comprising two adjacent base pairs contributes 4.53° to the curvature of the ideal superhelix. However, the NCP147 superhelix is not bent uniformly owing to (1) the anisotropic flexibility of DNA, (2) local structural features (correlated to the DNA sequence), and (3) irregularities dictated by the underlying histone octamer. The NCP147 DNA is generally B-form as judged by the criterion of the phosphate 'Z'-coordinate²² with a value of -0.18 ± 0.69 Å (mean \pm s.d.; range -2.32 to 1.45 Å). On the basis of oligonucleotide structures, values falling in the range from -1 to 0 are indicative of the B-form, whereas values above 2 signify the A-form²³. Other standard conformational parameters also indicate that the DNA is predominantly B-form (see Supplementary Table 1).

Remarkably, the NCP147 DNA has double the base-pair-step curvature necessary to produce the DNA superhelix path. The ideal superhelix fit to the NCP147 DNA yields 1.67 superhelical turns for 133.6 bp (1.84 superhelical turns for 147 bp), bending the DNA

through 600.0° , whereas the actual curvature of NCP147 DNA is $1,333.3^\circ$ (both scalar curvature values were calculated with the program Curvator²¹). The use of only the central 129 bp to remove the effect of straightening of the superhelical path at the terminal yields values of 579.3° and 1248.6° ($9.75 \pm 3.13^\circ$ per base-pair step)

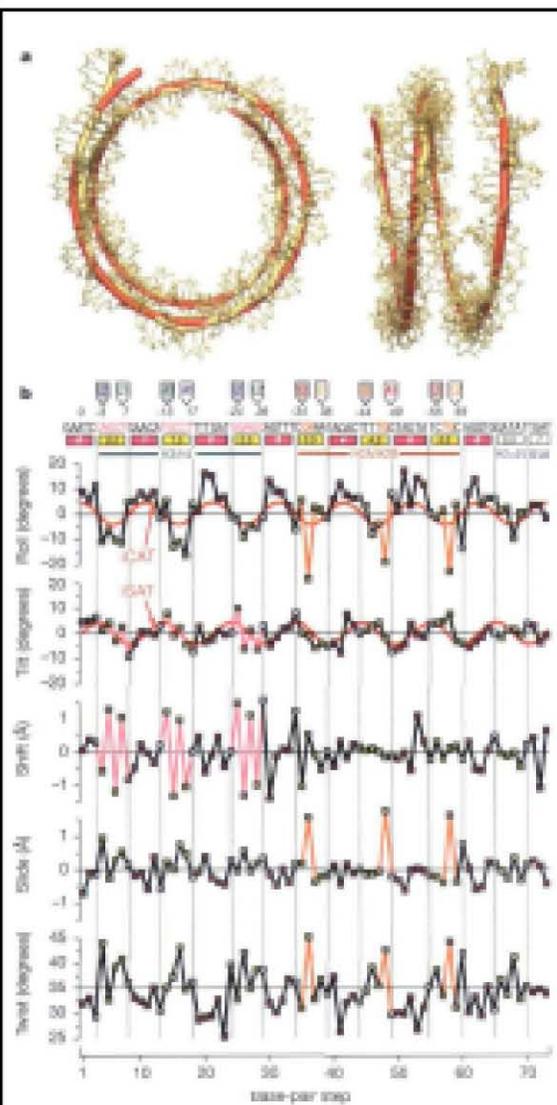


Figure 1 Superhelical path and base-pair-step parameters for NCP147 DNA. **a**, Structural alignment of the NCP147 (gold) and best-fit, ideal superhelix (red) paths. The NCP147 DNA structure is superimposed (gold). The left view is down the superhelix axis and the right view is rotated 90° around the pseudo-two-fold axis (vertical). **b**, Roll, Tilt, Shift, Slide and Twist base-pair-step parameters. The base-pair-step values plotted are the means for the two halves of the asymmetrical sequence (shown above, with the dyad position labelled '0'). The ICAT and ISAT curves (red) show the roll and tilt contributions to the ideal superhelix curvature. The minor-groove blocks show base-pair-step shift alternation (pink in shift and tilt) or kinks (orange in roll, slide and twist). The primary bound-phosphate groups are indicated above the base sequence by pointers (numbered as the 5' phosphate of the adjacent base) showing the strand direction (dark, 3' \rightarrow 5'; light, 5' \rightarrow 3') and the interacting histone motif (L1, loop 1; L2, loop 2; A1, α 1).

for the ideal and actual curvatures, respectively, and thus the terminal regions do not account for the discrepancy. The excess is not adequately explained by the zigzag path of the NCP147 superhelix, as the overall root-mean-square deviation from the ideal path is only 1.42 Å (Fig. 1a). We find that the greater part of the excess curvature is a consequence of alteration of DNA form not revealed by criteria based on oligonucleotide structures. Determining the component of curvature directed towards superhelix formation exposes the origin of the form changes.

The potential contributions to curvature from the roll and tilt (see Supplementary Fig. 1) of each base-pair step vary as sinusoidal functions of the accumulated twist angle (θ) along the length of the double helix. To evaluate the actual contributions, the roll and tilt values for each base-pair step are multiplied by the corresponding $\cos \theta$ (ICAT) and $\sin \theta$ (ISAT), respectively. A convenient origin for the summation of θ is taken as the central base pair located on the pseudo-two-fold symmetry axis of the particle (base pair 0 or dyad position). For the ideal superhelix, the ICAT and ISAT values multiplied by 4.53° yield the roll and tilt contributions to superhelix curvature at each base-pair step (ICAT and ISAT; Fig. 1b). The actual roll and tilt values for NCP147 DNA are moderately well correlated with ICAT ($R = 0.72, P < 0.0001$) and ISAT ($R = 0.54, P < 0.0001$), respectively. The sum of roll and tilt multiplied by ICAT and ISAT, respectively, over all base-pair steps yields a curvature free of the effect of path deviations between the ideal and actual superhelices. The resulting value is 897.0° , or 1.3-fold that required to accommodate the full NCP147 superhelix.

Unlike the computer-generated ideal superhelix, for which curvature derives equally from roll and tilt (ICAT and ISAT; Fig. 1b), curvature for oligonucleotide and NCP147 DNA stems predominantly from the roll parameter. For DNA oligonucleotide structures, roll is favoured over tilt by 2:1 (ref. 22), presumably because it requires less base-pair unstacking for any particular bend angle. In the nucleosome core, this ratio is virtually identical at 1.9:1, but when the components that contribute to the superhelix only are considered, the ratio is 3.0:1. Curvature into the superhelix is therefore accumulated every approximately five base pairs, where either the major or minor groove faces the histone octamer. Nevertheless, the NCP147 tilt component contributes 77% of that for the ideal superhelix (Fig. 1b; compare tilt and ISAT plots). In contrast, the roll component is 222% of the ideal contribution (Fig. 1b; compare roll and ICAT plots).

Analyses of crystal structures of DNA oligonucleotides and protein-DNA complexes normally equate DNA bending with DNA curvature²³ and rely on base-pair-step parameters to explain bending behaviour: for example, by using roll and tilt²⁴, roll and twist^{16,25,26} or roll, tilt, twist, slide, shift and rise²⁷. This type of approach is inadequate for nucleosome core DNA, given the substantial excess curvature that contributes to superhelix formation. Further analysis indicates that the conformation of nucleosome core DNA is not typical of oligonucleotide DNA and has not previously been described in protein-DNA complexes. Principal-component analysis of DNA structural parameters of both nucleosome core and oligonucleotide DNA show that the two most significant base-pair-step parameter correlations are roll-slide-twist and tilt-shift (see Supplementary Table 2). However, the coefficients for the base-pair-step components are significantly larger for NCP147 DNA (mean magnitudes are 0.88 versus 0.57 for roll-slide-twist and 0.86 versus 0.69 for tilt-shift), indicating that the NCP147 DNA is limited to a smaller regime of conformational space than is occupied by oligonucleotide DNA. When the backbone angles are also included in the analysis, the α , β and γ angles are found tightly linked to the roll-slide-twist component. Stronger parameter coupling occurs for blocks of base pairs with the minor groove as opposed to the major groove facing the histone octamer (mean magnitudes of 0.69 versus 0.37 for roll-slide-twist with backbone angles included), indicating differences in modes of

DNA bending or in conformational variability for the two orientations.

Major-groove versus minor-groove curvature

The DNA curvature of the central 129 bp of NCP147 favours the major groove over the minor groove by 1.3:1 per base-pair step in contrast to the approximate 2:1 preference observed for oligonucleotide DNA (evaluated from data in ref. 20). Minor-groove bending is facilitated in NCP147 by the insertion of an arginine side chain into the minor groove at each of the 14 sites at which it faces the histone octamer. The minor groove narrows to a width of $3.0 \pm 0.55 \text{ \AA}$ at these sites¹¹. An insightful analysis is made by dividing the DNA along its length into blocks of continuous positive and negative CAT values, defining respectively regions where the major-groove and minor-groove curvatures contribute to superhelix formation (Fig. 1b). A single junction base-pair step joins the major-groove and minor-groove blocks and cannot contribute significantly to superhelix curvature by base-pair-step roll because these steps have the minimum magnitudes for CAT (-0.10 to 0.26). The major-groove blocks display ‘smooth’ bending with all roll angles positive ($8.47 \pm 5.18^\circ$) and with systematic underwinding of the DNA indicated by the reduced twist angles and negative slide displacements (Figs 1b and 2a). The minor-groove blocks exhibit ‘smooth’ bending only over the H3–H4 tetramer, with essentially all base-pair steps having negative roll angles ($-7.86 \pm 6.03^\circ$). In contrast, minor-groove blocks are kinked over the H2A–H2B dimers ($-5.13 \pm 11.01^\circ$; Fig. 1b). This difference in minor-groove-block bending modes associated with H3–H4 and H2A–H2B is most probably a consequence of specific DNA sequences and not underlying differences in the histone binding or degree of curvature (mean values over all base-pair steps: H3–H4, 9.9° ; H2A–H2B, 8.9°). Smooth bending in minor-groove blocks is associated with large alternation of shift values roughly between -1 and $+1 \text{ \AA}$ for four base-pair steps, which relieves steric interference between the base edges (Figs 1b and 2b). This mode of bending, which is the prime contributor to the observed shift–tilt coupling, depends most consistently on the GC base-pair step, and on GG = CC or AG = CT base-pair steps, with one and two in each block, respectively. GC steps have been noted previously for their high shift propensity²¹. The GG = CC and AG = CT steps are, of all steps, the only two that can form cross-chain hydrogen bonds in the minor groove as observed for oligonucleotides²² and for NCP147. The occurrence of two GG = CC/AG = CT base-pair steps in the minor-groove blocks bound to the H3–H4 tetramer, but not the

H2A–H2B dimer, is a probable determinant of smooth versus kinked bending.

Kinking in minor-groove blocks always occurs at a single CA = TG base-pair step that has a roll angle in the range -18° to -27° , roughly the total curvature into the superhelix for the entire block (Figs 1b and 2c). These kinked steps have a concomitant large slide value of over 1.5 \AA and are also overtwisted to values larger than 40° . They have a conformation that is extreme in roll–slide–twist coupling. Ten of 12 minor-groove blocks have one CA = TG step and two have none. The six CA = TG steps that are kinked have CAT values between -0.6 and -1 , whereas the four non-kinked CA = TG steps have values more positive than -0.5 . As steps with more negative CAT values have more potential to contribute to superhelix curvature, they are conversely under more stress to kink. The occurrence of CA = TG steps in kinks is consistent with their properties as gleaned from oligonucleotide structures²³: (1) TA and CA = TG steps are the most flexible as judged from the standard deviation of roll angles, (2) the mean slide for CA = TG is 1.38 \AA —the only base-pair step with a value greater than 1 \AA (the TA mean value is -0.80 \AA), and (3) with a mean twist angle of 37.4° . CA = TG is one of the most overwound base-pair steps. TA and CA = TG are by far the most flexible of the 10 base-pair steps with regard to roll, slide and twist, but the propensity of TA for negative slide makes it much less likely to kink in the manner observed in NCP147 DNA. Clash of the purines across the minor groove in the kinks observed is avoided because of large slide values. Furthermore, TA steps have the largest positive mean roll angle (11.8° versus the next largest of 6.3° for GG = CC), which is consistent with their appearance only in major-groove blocks of NCP147. The importance of base-pair-step flexibility in nucleosome positioning and stability has been suggested previously^{24,25}. A survey of protein–DNA complexes shows that only seven base-pair steps are rolled into the minor groove to a degree comparable to that of NCP147 DNA, but none of these is a CA = TG step²⁶. Comparison of the mean roll angle for each type of base-pair step within NCP147 DNA and from oligonucleotide structures²³ shows that they are only weakly correlated with each other (see Supplementary Information).

DNA form and superhelix formation

Strikingly for NCP147 DNA, the conformational parameter tip oscillates regularly along the length of the DNA (Fig. 3a). The transitions between negative and positive tip angles represent an alternation of the DNA form that manifests itself in the major and minor blocks as excess roll. By definition, the excess roll of a series of

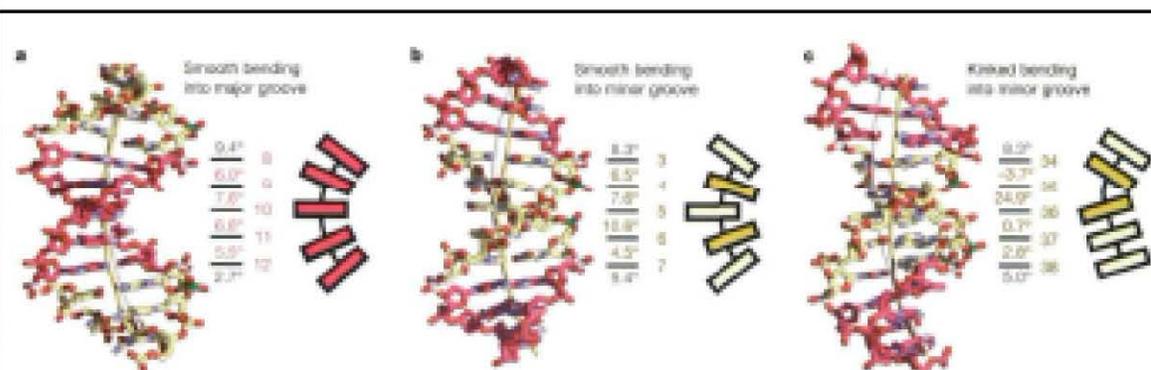


Figure 2 DNA bending in the NCP147 DNA. Structures (left) and schematic representations (right) stress uniformity of curvature in the major-groove blocks (red) (a), and alternating shift values (b) and localisation of curvature in kinks in minor-groove blocks (c) (yellow for one representative double-helical turn). Also indicated are the

primary bound-phosphate groups (green), the block-junction phosphate groups (white) and the DNA axes for the NCP147 (gold) and deoxy (white) superhelices. The contributions of base-pair-step curvature to superhelix bending are listed with base-pair numbers (centre).

base-pair steps is the sum of the change in tip angles over the corresponding base pairs (Fig. 3b). The source of excess roll in the NCP147 superhelix is localized primarily to block junctions and the base pairs immediately adjacent on either side, where the tip is significantly non-zero. The reason for the increased tip-angle magnitudes at these sites is that they accommodate the smaller radius of curvature on the inside surface of the superhelix compared with the outside, about 32 Å compared with 52 Å. In principle, this radius-of-curvature difference should require shorter phosphate-phosphate distances (PP) where the DNA backbone faces the histones than where it faces away. In fact, it is not the absolute distance that is crucial but the component of the PP distance (PP_z) lying parallel to the path of the superhelix. As two adjacent base-pair steps were found compensatory for this distance, PP_z is obtained from three base pairs ($i - 1$ to $i + 1$), and the direction of the superhelix path is defined by four points on the double-helix axis ($i - 1$ to $i + 2$). Importantly, it is PP_z that is shortened on the inside and lengthened on the outside of the DNA superhelix by the oscillating tip angles. The difference calculated at each base pair between the values of PP_z for the two phosphodiester chains (Δ PP_z) is strongly correlated with tip angle ($R = 0.91$, $P < 0.0001$; Fig. 3a). The values of Δ PP_z, compared with S&T, a direct measure of inside and outside, are somewhat less well correlated ($R = 0.85$, $P < 0.0001$) owing to DNA-sequence-specific effects such as kinking in the minor-groove blocks.

Phosphate-phosphate distances, as opposed to their superhelical path component, are not correlated with S&T, curvature or roll angles, and are only weakly correlated with tip. This is the expected behaviour because the phosphodiester backbone is essentially incompressible, as described previously for oligonucleotide structures²⁵, having in NCP147 a mean phosphate-phosphate distance of 6.68 ± 0.23 Å between nearest neighbours along the same chain. However, a notable variation in the B-form backbone is the anticorrelation of the ϵ and ζ backbone angles giving rise to the B₁ and B₂ forms²⁶. In NCP147, the population of base-pair steps intermediate between B₁ and B₂ (that is, B_{1/2}) is larger than for oligonucleotides, but the distribution is not significantly correlated with other form or backbone parameters. The differences in mean phosphate-phosphate distances for B₁, B_{1/2} and B₂ forms separately, even taking into consideration the location in major-groove and minor-groove blocks or junctions, are less than 1 s.d. of the mean distance overall. Nevertheless, in minor-groove blocks, a B₂ to B₁ transition occurs at kinks, and B₁ and B₂ alternation occurs at sites of alternating shift. In the latter case, the B₂ base pair is displaced into the minor groove and has up to -40° of propeller twist. This unusual conformation for GG and AG base-pair steps is stabilized by cross-strand bifurcated hydrogen bonds in the minor groove between guanine N2 and pyrimidine O2 atoms. Moreover, the variability observed between repeating binding sites seems to stem from a dependence on DNA sequence, not only for the choice of

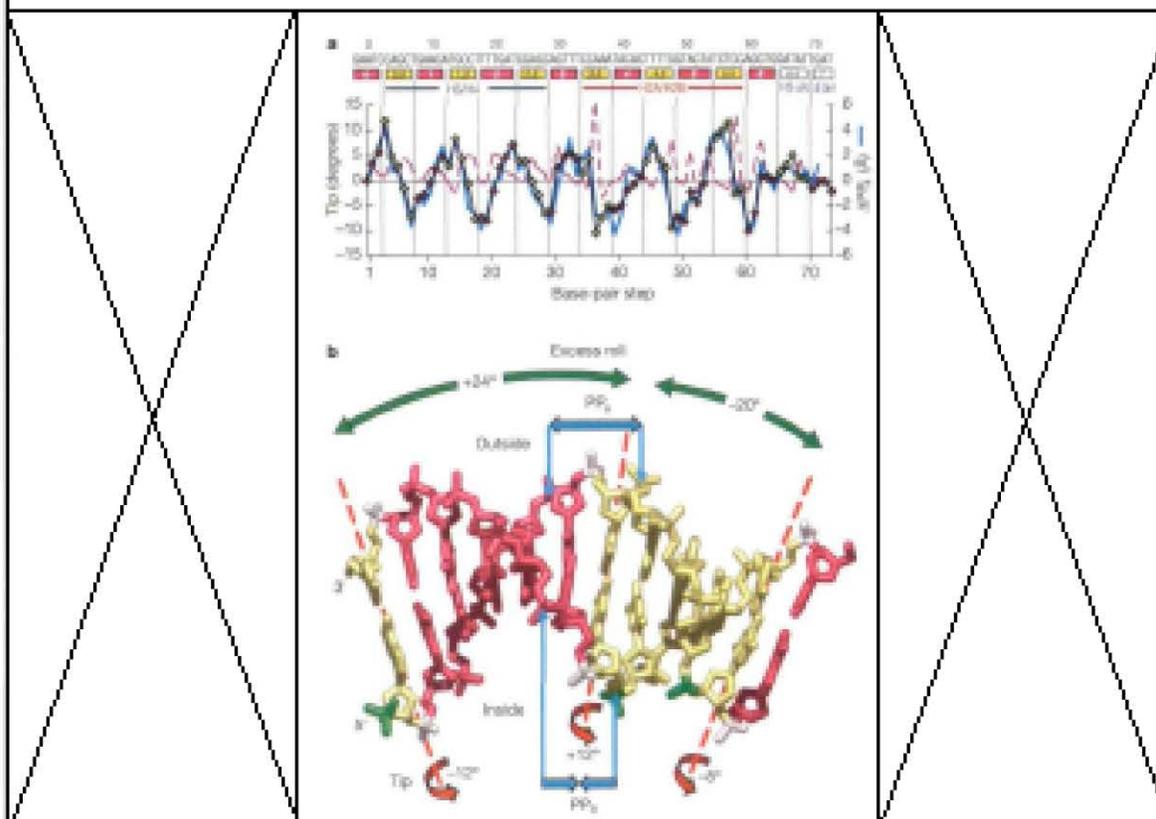


Figure 3 | Correlation of the base-pair tip parameter for NCP147 core. **a**, Correlation of base-pair tip and Δ PP_z, plotted as in Fig. 1b. Excess base-pair-step roll (purple) into the superhelix is a consequence of oscillating base-pair tip angles (black). Δ PP_z (blue) is the difference between PP_z values for the two phosphodiester chains at a single base pair. **b**, Coupling between PP_z, tip and excess roll. PP_z is the component of the phosphate-

phosphate distance that lies on the plane containing the local superhelical path. Rotation of a base pair along its tip axis (red) in the direction indicated decreases PP_z on the inside and increases it on the outside of the superhelix. Excess roll for a base-pair step is the difference between the tip angles for the two contributing base pairs. The DNA blocks shown are from SH3.3 and SH3.5.

smooth or kinked bending in minor-groove blocks but also for the precise details of the conformation along the entire DNA.

Histone constrains an DNA conformation

Conformational differences between nucleosome core and oligonucleotide DNA are probably important for the recognition, or lack of it, of nucleosome DNA by nuclear factors, and for the folding of nucleosome arrays into the chromatin fibre. Furthermore, the dependence of nucleosome position and stability on base sequence, as demonstrated convincingly by experiments *in vitro* (for example ref. 11), derives from the energetics of sequence-dependent histone-DNA interactions. Parameterization of an energy function, analogous to that for protein-DNA complexes²³, capable of accurate prediction of sequence-dependent behaviour will require many high-resolution structures of the nucleosome core particle containing different DNA sequences. Currently, comparisons between histones H2A, H2B, H3 and H4 for the three primary types of DNA-binding motif in the nucleosome core give a preliminary indication of the significance of histone restraints on DNA conformational flexibility.

The principal DNA-binding sites in the nucleosome core particle are the eight L1/L2 loop and four α 1 helix structures within the histone-fold domains⁷. Although the histone-DNA interactions at each of these sites are complex (a complete tabulation is given in ref. 17), one phosphate group from each DNA strand shows at least one conserved interaction with protein over the four types of core histone (Figs 1b and 4). These primary bound-phosphate groups are 5' to the last base pair for both DNA strands in each minor-groove block, with one exception at SHL4.5 (SHL: superhelix location⁷), resulting from a dissimilar packing arrangement of the α 1 and α 2 helices for H2B in comparison with the other histones⁷. Separate structural alignments, calculated with the histone main-chain segments only, for the L1, L2 and A1 binding motifs (the components of L1/L2 loop and α 1 helix sites) and their associated phosphate groups show the precision with which the selected phosphate groups are localized by binding to histone (see Supplementary Table 5).

For the L1 and L2 binding motifs, the root-mean-square deviations for the primary bound-phosphate group (1.27 and 1.39 Å) and its 3'-adjacent neighbour (1.42 and 1.48 Å) are strikingly low

relative to the mean phosphate-phosphate distance of 6.68 Å (see Supplementary Table 5). The values for the phosphate groups are comparable to those for the segments of protein main-chain (0.75 and 0.46 Å) used for the alignments if the phosphates associated with the structurally deviant H2B are not included. Two phosphate groups separated by 21 bases along each DNA strand are therefore well localized on both the H3-H4 and H2A-H2B histone-fold pairs (for example H4L1 to H4L2) through histone interaction. Correspondingly, the DNA segments bridging between the halves of the H3-H4 tetramer and H3-H4 tetramer to H2A-H2B dimer are 10 bases in length. Evidently, the histone proteins impose substantial conformational restraints on the DNA, which responds in a sequence-dependent manner, such as the smooth and kinked bending modes observed for the minor-groove blocks. The phosphate deviations for the A1 motif are larger than for L1 and L2 motifs, which might reflect their location between phosphate groups at 10.5 bases. This non-optimal arrangement might decrease sequence-dependent effects on stability by accommodating either 10 or 11 bases between A1 motifs and the adjacent L1 and L2 motifs. A possible example of this multiplicity occurs for H2B A1 at the SHL4.5/5.0 block junction (Fig. 1b). Indeed, the location of A1 relative to L1 and L2 motifs could promote DNA stretching.

DNA stretching

The double-helical twist values for NCP147 DNA range from 28.7° to 47.9° and have a mean value of 34.52 ± 4.75°, or equivalently 10.43 bp per turn, which corresponds to the laboratory reference frame²⁴. Values from experiments that probe DNA by enzymatic digestion or hydroxyl radical cleavage correspond to the local reference frame and are calculated from the laboratory frame by removing the geometrical contribution from the superhelical pitch. Assuming a uniform pitch angle α , then $\text{Twist}(\text{local}) = \text{Twist}(\text{laboratory}) - (2\pi \sin \alpha)/N$, where N is the number of base-pair steps in one superhelical turn. Using the values from the ideal superhelix of -5.62° and 78.90 steps for α and N , respectively, NCP147 overall has a local frame twist of 10.30 bp per turn. Remarkably, two 146-bp nucleosome core particle structures containing differing DNA sequences have values of 10.25 and 10.15 bp per turn¹⁷. These reduced values are a consequence of DNA stretching by 1–2 bp to satisfy the crystal packing constraints of

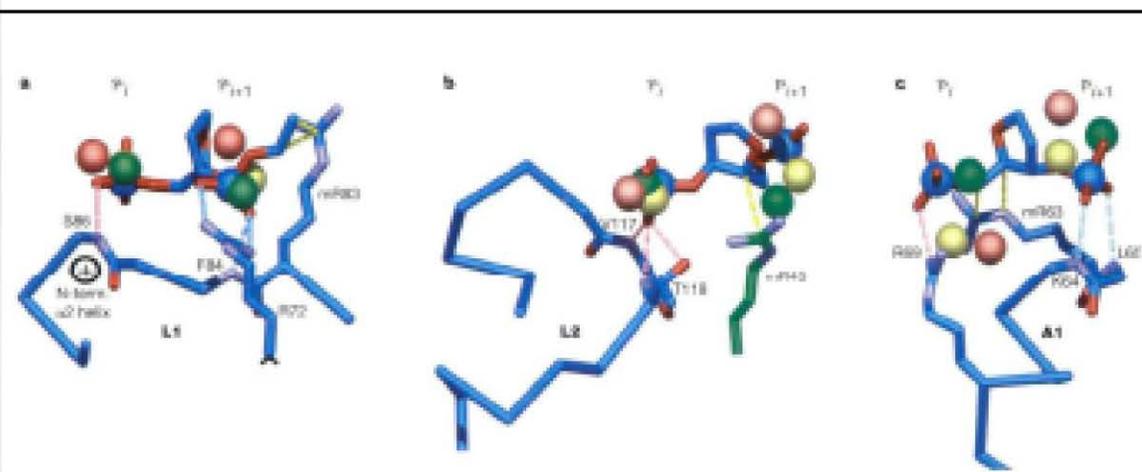


Figure 4 Structural alignments of the histone-fold DNA-binding motifs and bound phosphate groups. The motifs are L1 (a), L2 (b) and A1 (c). For each, the main-chain C_α atoms of H4, H2A and H2B were aligned with those for H3. The resulting primary bound-phosphate group (P₁) and 3'-adjacent phosphate group (P₁₊₁) positions are shown (H3,

blue; H4, green; H2A, yellow; H2B, red) with respect to the H3 main-chain and interacting groups. Completely conserved (pink) and partly conserved (cyan) hydrogen bonds and interactions (yellow) with the minor-groove arginine side chain (mR) are shown.

the DNA termini¹. The actual 12-bp region stretched is in a different location in the two 146-bp structures, and both regions are distant from the DNA termini. Evidently, stretching at the DNA termini introduces a twist defect in the double helix that then diffuses to predominantly one region in each particle, depending on the DNA sequence. The distorted region is centred on either an H3–H4 or an H2A–H2B nucleosomal DNA-binding site and is bound at each end by the adjacent L1/L2 sites. These two 146-bp structures therefore contain DNA regions that represent trapped intermediates relevant to a twist-defect-diffusion mechanism of nucleosome mobility^{65,67} and twist propagation by chromatin-remodelling enzymes.

DNA isolated from nucleosome core particles prepared from bulk-source endogenous chromatin have a sequence periodicity of 10.17 bp per turn⁶⁸, which is significantly closer to the local frame values for the 146-bp versus 147-bp nucleosome core particles. This similarity suggests that nucleosomes in the cell nucleus have evolved to contain DNA stretched on average by 1–2 bp. The difference between 10.17 bp per turn for nucleosomes and 10.5 bp per turn, accepted for the average twist of naked DNA⁶⁹, accounts for the discrepancy in the observed and effective values (−1.67 versus −1.2 (ref. 38)) of nucleosome supercoiling. The overtwisting of the DNA double helix on the nucleosome, due in part to DNA stretching, resolves the ‘linking number paradox’⁷⁰ observed for nucleosomes assembled on closed circular DNA. Unusual twisting or supercoiling of the linker DNA between nucleosome cores in these arrays is not required. Formation of a compact nucleosome higher-order structure could be facilitated by DNA stretching because it would provide a buffer against incompatible DNA linker lengths. Each linker DNA segment running between two nucleosome cores could on average adjust in length by up to four base pairs by stretching or compressing the DNA bound to the neighbouring H2A–H2B and H3–H4 histone-fold domains. Not only would this provide for linker length adjustment, it would also alleviate twist angle restrictions of at least 140°.

Methods

Crystal preparations, data collection, model refinement and figure preparation were described previously⁷¹. The ideal DNA superhelix was calculated by using B-form ‘nucleo-pole geometry’⁷² and fitted by least squares to the NCP147 DNA (T1.R., unpublished observations). The twist offset for the central base pair of NCP147 is 3.439° (negative for strand with 5′ terminal). It is presumably core-core because of the asymmetry of the AT base pair lying on the nucleosomal dyad of the particle. DNA curvature, base-pair and base-pair-step parameters, and nucleosome geometry were calculated with the program Curves⁷³ (see Supplementary Methods). Excel (Microsoft) and Sigmaplot (SPSS) were used for the analysis of DNA geometry. Correlation coefficients were calculated by using variance weighting. Principal components were calculated with IMStat software (T.L.R., unpublished observations).

Received 18 January; accepted 12 March 2005; doi:10.1038/nature04195

1. van Halbeek, H. E. in *Chromatin* (ed. Beatty, J.) (Springer, New York, 1987).
2. Kornberg, R. D. & Lorch, Y. Thirty-five years of nucleosomes: fundamental particles of the eukaryote chromatin. *Cell* **98**, 289–298 (1994).
3. Epps, S. C. R. & Workman, J. L. *Inhibitors of Chromatin Structure and Gene Expression* (Oxford Univ. Press, Oxford, 2000).
4. Simpson, R. T. Nucleosome positioning: Occurrence, mechanisms, and functional consequences. *Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol.* **64**, 113–134 (1997).
5. Pfeiffer, A. F. & Kornberg, R. D. The nucleosome: a prevailing factor of transcription. *Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol.* **64**, 379–412 (1998).
6. Pfeiffer, A. F. & Kornberg, R. D. The nucleosome: a prevailing factor of transcription. *Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol.* **64**, 379–412 (1998).
7. Luger, K., Mader, A. W., Richmond, R. E., Sargent, D. J. & Richmond, T. J. Crystal structure of the nucleosome core particle at 2.8 Å resolution. *Nature* **389**, 251–260 (1992).
8. Prevost, F. H. & Tamm, H. E. Nucleosomes, DNA-binding proteins, and DNA sequence modulation: a reevaluation of the evidence. *Cell* **68**, 769–780 (1982).
9. Kornberg, R. D. & Lorch, Y. Chromatin structure and transcription. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* **9**, 513–567 (1993).
10. Komatsu, H., Kubo, S. Y., Imai-Gyoyagi, C. & Simpson, R. T. Nucleosomes are positioned with respect to

- promoter elements for the alpha 2 opsin in *Drosophila ocellaris*. *EMBO J.* **10**, 3033–3041 (1991).
11. Hays, A. & Richmond, T. J. Positioning and stability of nucleosomes on *ADAM2* 5'UTR sequence. *J. Mol. Biol.* **275**, 427–441 (1998).
12. Berezneyan, G., Hittinger, G. & Beatty, E. M. *Shikohol-nucleosomes: a general behaviour*. *EMBO J.* **10**, 2951–2959 (1991).
13. Hays, A. & Richmond, T. J. Mechanism of protein access to specific DNA sequences in chromatin: a dynamic equilibrium model for gene regulation. *J. Mol. Biol.* **244**, 138–149 (1995).
14. Quake, A. M., Komarova, G. A., Gelfand, E. P. & Isidoroff, G. Mechanism of transcription through the nucleosome by endogenous RNA polymerase. *Science* **258**, 1960–1963 (1992).
15. Trifunac, A. T. The *in vivo* function of ATP-dependent chromatin-remodelling factors. *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* **3**, 422–429 (2002).
16. Calladine, R. & Drew, H. R. Principles of sequence-dependent DNA. *J. Mol. Biol.* **147**, 97–132 (1981).
17. Shere, C. A., Sargent, D. J., Luger, K., Mader, A. W. & Richmond, T. J. Sequence-mediated interactions in the structure of the nucleosome core particle at 1.9 Å resolution. *J. Mol. Biol.* **318**, 1097–1113 (2002).
18. Shere, C. A. & Richmond, T. J. DNA-dependent dyad axis binding to the nucleosome core particle. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **98**, 11149–11155 (2001).
19. Crook, F. H. C. & Crook, A. Kinetic helix. *Nature* **205**, 106–111 (1965).
20. El-Hosseini, M. A. & Marmè, C. R. Conformational characteristics of DNA: Empirical classification and a hypothesis for its conformational behaviour of dinucleotide units. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Liq. Anal.* **151**, 43–60 (1987).
21. Lavery, R. & Skolnick, H. A definition of generalized helical parameters and of axis curvature for irregular nucleic acids. *J. Comput. Struct. Dynam.* **6**, 67–91 (1998).
22. Yang, M. A., Karimabadi, A., Kowalski, D. L. & Herman, H. M. Analysis of local helix bending in crystal structures of DNA at nucleosomes and DNA-protein complexes. *Biophys. J.* **86**, 2434–2449 (2004).
23. Olson, W. K. Simulating DNA force resolution. *Chem. Opin. Struct. Biol.* **6**, 242–256 (1994).
24. Dickerson, R. E. DNA bending: the prevalence of kinks in the structure of nucleoids. *Nucleic Acids Res.* **28**, 1908–1924 (2000).
25. Goodell, D. S. & Dickerson, R. E. Bending and curvature of nucleosomes in DNA. *Nucleic Acids Res.* **22**, 1497–1500 (1994).
26. El-Hosseini, M. A. & Calladine, C. R. The structural models of protein-induced bending in DNA. *J. Mol. Biol.* **140**, 311–337 (1980).
27. Pickett, M. J. & Holmes, C. A. Sequence structure relationships in DNA algorithms: a computational approach. *J. Am. Chem. Soc.* **115**, 759–764 (1993).
28. Inagaki, K., Pines, G. E. & Dickerson, R. E. A model of local helix geometry in three B-DNA dimers and eight dodecamers. *J. Mol. Biol.* **237**, 203–216 (1992).
29. Shere, C. A. & Crothers, D. M. Effects of DNA sequence and histone-DNA interactions on nucleosome placement. *J. Mol. Biol.* **214**, 69–87 (1991).
30. Amadio, C., Boccia, G., Di Santis, E., Di Stefano, R. & Sgarbi, S. The role of DNA flexibility curvature and flexibility in determining nucleosome stability. *J. Mol. Biol.* **306**, 1293–1304 (2000).
31. Dickerson, R. E. & Chu, T. K. Helix bending as a factor in protein-DNA recognition. *Biochemistry* **30**, 861–869 (1991).
32. Pickett, M. J. & Holmes, C. A. Sequence-dependent DNA structure: The role of the sugar-phosphate backbone. *J. Mol. Biol.* **180**, 407–429 (1985).
33. Trifunac, A. N., Bogha, M. L., Dore, H. & Dickerson, R. E. Accessible bending and helix geometry in a B-DNA dodecamer. *GAZZANETTI, GAZZ. J. Biol. Chem.* **7**, 1656–1670 (1982).
34. Olson, W. K., Crooks, A. A., Lu, Y., Hsieh, L. M. & Zhuravskii, E. DNA sequence-dependent deformability defined: from polymer-DNA crystal complexes. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **95**, 11167–11169 (1998).
35. Teyssie, P. H. & Flig, A. The topology of DNA in nucleosomes and its role in replication. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* **157**, 53–66 (1987).
36. Richmond, T. J. & Phelan, J. in *Chromatin Structure and Gene Expression* (eds Egan, J. C. R. & Workman, J. L.) 1–21 (Oxford Univ. Press, Oxford, 2002).
37. Widom, J. Role of DNA sequence in nucleosome stability and dynamics. *Chem. Rev. Biophys.* **36**, 249–324 (2003).
38. Zivanov, T., Grubb, J., Reed, B., Lu, B., Li, B. P. & Pincus, A. Chromatin organization on small DNA rings. II. DNA supercoiling on the nucleosome. *J. Mol. Biol.* **306**, 347–360 (1998).
39. Flig, A. & Lohr, C. C. The helical periodicity of DNA on the nucleosome. *Nucleic Acids Res.* **9**, 4267–4285 (1981).
40. Jernak, S., Dore, H. D. & Watanabe, K. J. Least squares refinement of the crystal and molecular structure of DNA and RNA from X-ray data and standard bondlengths and angles. *Acta Crystallogr. B* **23**, 1793–220 (1969).

Supplementary information accompanies this paper on www.nature.com/nature

Acknowledgements We thank L. Berger and D. Sargent for comments on the manuscript. This study was supported by the Texas National Science Fund.

Competing interests statement The authors declare that they have no competing financial interests.

Correspondence and requests for materials should be addressed to T.J.R. (e-mail: trifunac@utdallas.edu). The coordinates of the X-ray structures are available from the Protein Data Bank as files 1K45, 1K46 and 1K47.

9.4 LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS Y SUS RAMAS PRINCIPALES

Anatomía	(ANA)
Antropología (Biología Humana)	(ANT)
Biofísica	(BFIS)
Biología celular (Citología)	(CEL)
Biología del desarrollo (Embriología)	(DES)
Biología evolutiva	(EVO)
Biología molecular	(MOL)
Bioquímica	(BQ)
Botánica	(BOT)
Ecología	(ECO)
Fisiología	(FIS)
Genética	(GENE)
Genómica	(GENO)
Inmunología	(INM)
Microbiología	(MIC)
Neurociencias	(NEU)
Paleontología	(PAL)
Taxonomía	(TAX)
Virología	(VIR)
Zoología	(ZOO)

**9.5: CUADRO: DESARROLLO TECNOLÓGICO RELEVANTE PARA LA
PRODUCCIÓN Y PUBLICACIÓN DE IMÁGENES EN LAS CIENCIAS**

DESARROLLO TECNOLÓGICO RELEVANTE PARA LA PRODUCCIÓN Y PUBLICACIÓN DE IMÁGENES EN LAS CIENCIAS

EPOCA	TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN VISUAL Finalidad: plasmar la realidad por medio de imágenes	TECNOLOGÍAS DE VISUALIZACIÓN Finalidad: potenciar la vista humana, hacer accesible mediante la visión	TÉCNICAS DE IMPRESIÓN DE IMÁGENES Finalidad: reproducción de imágenes y transmisión de información
Antecedentes	<p>Las primeras semillas de lo que se llama hoy en día visualización fueron los diagramas geométricos, los cuadros que plasmaban las posiciones de las estrellas y otros cuerpos celestiales, así como los mapas para apoyar la navegación y la exploración.</p> <p>Edad Media: Manuscritos con ilustraciones originales (dibujo, pintura). No existía una diferencia tan grande entre la producción de texto y de imagen dado que ambos contaban con componentes ornamentales y táctiles y requerían por igual habilidades artísticas. Concepción religiosa del mundo (teocentrismo).</p>		
1400-1599	<p>Renacimiento: Revolución copernicana. Concepción profana del mundo: naturalismo, humanismo (antropocentrismo)</p> <p>La invención de la imprenta permite la difusión del saber. Las ilustraciones se incluyen como grabados. Hasta 1500 los libros trataron de parecerse a los manuscritos (incunables).</p> <p>Perspectiva central, base del dibujo técnico aprox. 1400 (Alberti)</p> <p>Proyección geográfica, 1569 (Mercator)</p> <p>Predomina el dibujo naturalista (anatomía) (Da Vinci)</p>	<p>Cámara oscura, mediados del S. XV (Da Vinci, Durero)</p>	<p>Predomina la impresión en relieve en que imagen y texto se graban en una tabla de madera (xilografía)</p> <p>Imprenta de tipos móviles, 1453 (Gutenberg)</p> <p>Grabados se colorean <i>a posteriori</i></p>
1600-1699	<p>Siglo de las Luces: A principio del siglo se dispara el desarrollo de técnicas e instrumentos para la observación precisa y la medición exacta de cantidades físicas. Predomina el racionalismo (empirismo inglés) y el romanticismo (ilustración alemana). Se crean sociedades científicas importantes y se publican las primeras revistas científicas (1665).</p> <p>Micrografía, 1665 (Hooke)</p> <p>Cartografía temática, 1686 (Halley)</p> <p>Coordenadas cartesianas (Descartes)</p>	<p>Telescopio, 1609 (Galileo)</p> <p>Microscopio, 1655 (Van Leeuwenhoek)</p> <p>Telescopio, 1688 (Newton)</p>	<p>Toma fuerza el grabado en metal</p> <p>Se colorean las placas.</p>

1700-1799	<p>Primera Revolución industrial: Mecanización de los procesos productivos. Predomina una cosmovisión mecanicista. Se publica la <i>Encyclopédie</i>, obra que refleja la exaltación del poder de la razón y su derecho de someter a análisis toda idea, concepto, creencia o institución.</p> <p>Inicia una nueva etapa de la impresión en color con una técnica basada en la teoría del color de Newton.</p>		
	<p>Time-line, 1765 (Priestley)</p> <p>Series de tiempo, 1779 (Lambert)</p> <p>Diagrama de barras, 1786 (Playfair)</p>		<p>Tricomía (impresión a 3 colores: azul, amarillo, rojo) 1710 (Le Blon)</p> <p>Estereotipía, 1710 (Van der Moy)</p> <p>Litografía, 1796 (Senefelder)</p>
1800-1849	<p>Predominio del Empirismo (Positivismo): Concepto de progreso universal necesario e inevitable. Apogeo de la estadística gráfica y la cartografía temática. Un número creciente de publicaciones científicas empiezan a incluir gráficos que describían y posteriormente también analizaban fenómenos naturales.</p> <p>La fotografía revoluciona la representación, pero todavía se hacen copias en grabado para incluir en publicaciones.</p>		
	<p>Pie chart, 1801 (Playfair)</p> <p>Divided pie chart, 1819 (Von Humboldt)</p> <p>Cartograma, 1819 (estadístico francés)</p> <p>Histograma, 1833</p>	<p>Cámara lúcida, 1806 (Wollaston)</p> <p>Fotografía, 1839 (Daguerre/Niepcé)</p> <p>Microfotografía, 1845</p>	<p>Cromolitografía (una plancha por color), 1826 (Senefelder)</p> <p>Fotolitografía (Du Motay)</p> <p>Mecanización de la imprenta (prensa mecánica accionada por vapor, prensa de cilindro, rotativo)</p>
1850-1899	<p>Segunda Revolución industrial: Con el surgimiento de la teoría de la relatividad y la física cuántica a finales del siglo XIX inicia la crisis del mecanicismo. En toda Europa se establecen oficinas gubernamentales de estadística. Las teorías estadísticas proporcionaban sentido a la inmensidad de los datos y la ampliamente usada graficación conllevó a la necesidad de normalizar y clasificar sus métodos (Tercer Congreso Internacional de Estadística 1857).</p> <p>Se descubre la radiografía. La conjunción de la fotografía con los procesos de impresión permite reproducciones más fieles y las velocidades de impresión están aumentando enormemente.</p> <p>A finales del siglo, mediante procesos fotoquímicos, fue posible trasladar la imagen fotográfica a las planchas de impresión permitiendo imprimir ilustraciones y texto en el mismo paso.</p>		

	Mapa que incluye diagramas, 1851 (Minard)	Cronofotografía, precursora del cine, 1878 (Muybridge) Rayos X, 1895 (Röntgen)	Fotgrabado, 1852 (Talbot) Fotgrabado en hueco, 1879 (Klic) Cianotipia, 1876 Autotipia, , 1881 (Meisenbach) Linotipia, 1884 (Mergenthaler) Grabado medio tono, 1886 (Ives) Impresión a 4 colores (cian, magenta, amarillo, negro) Fotolitografía
1900-1945	<p>Primera y Segunda Guerra Mundial El entusiasmo notorio por las gráficas estadísticas y la cartografía temática de principios del siglo anterior fue suplantado por el auge del pensamiento cuantitativo y los modelos formales, frecuentemente estadísticos, que se hace evidente también en las ciencias sociales. Frente a la precisión de los números y los parámetros, las imágenes fueron menospreciadas. Es de destacarse que en este periodo fueron sentadas las bases de la revolución informática que conllevará una próxima ola de desarrollos en lo que a la visualización de datos se refiere.</p>		
		Microscopio electrónico, 1931 (Ruska)	Litografía off-set, 1906
1946-1974	<p>Tercera Revolución industrial, Revolución informática: Sigue reinando el <i>Zeitgeist</i> formal y numérico, pero a mediados de los 60s se abre la posibilidad de crear formas gráficas, tanto tradicionales como nuevos, por computadora. Las máquinas de fotocomposición producen imágenes fotográficas de los tipos en vez de tener la necesidad de fundirlos en plomo.</p>		
	La sémiologie graphique, 1967 (Bertin) Teoría que identifica los elementos básicos de los diagramas y elabora marco para su diseño	Microscopio electrónico de barrido, 1965	Fotocomposición

1975-	<p>Era digital: Desarrollo de sistemas computacionales interactivos para el análisis de datos, de nuevos métodos de visualización de datos de alta dimensión, invención de nuevas técnicas gráficas para datos categóricos y ampliación de métodos de visualización a una cantidad cada vez mayor de problemas sustantivos. Impacto que se extiende a un rango mayor de disciplinas. La computación se añade a los aparatos de visualización. Aparición de la primera supercomputadora (1976). Fin de la era de los tipos de plomo (70s). Una década después, las computadoras revolucionan todo el proceso de impresión.</p>		
	<p>Fractales, 1975 (Mandelbrot)</p> <p>Exploratory data analysis, 1977 (Tukey)</p> <p>Tufte publica teoría de gráficos que busca maximizar la densidad de información útil</p> <p>CAD (Computer Aided Design), 3D</p> <p>Parallel coordinates plots for high-dimensional data, 1985 (Inselberg)</p> <p>Dynamic graphics for statics, 1988 (Cleveland/McGill)</p> <p>Tremaps, 1991</p> <p>Table lens, 1994</p>	<p>Tomografía computarizada, 1970s</p> <p>Escaneo por ultrasonido, 1970s</p> <p>Fotografía digital, 1970s</p> <p>Resonancia magnética, 1980s</p> <p>Microscopio de fuerza atómica, 1985</p>	<p>Desktop publishing, 1980s</p> <p>World Wide Web, 1989 (Berners-Lee)</p> <p>Primeras revistas electrónicas (1994)</p>

Fuentes:

Friendly, Michael y Daniel J. Denis, "Milestones in the history of thematic cartography, statistical graphics, and data visualization", octubre 2005 (consultado en en <http://www.math.york.ca/SCS/Gallery/milestone> el 25 de octubre de 2005).

"Milestones in scientific computing" consultado en http://www.nature.com/news/2006/060320/multimedia/computing_timeline/html/computing_timeline.html el 25 de octubre de 2006

**9.6 ARTICULO ADICIONAL A LA MUESTRA Y RELATORIA DE SU
LECTURA**

A gene expression map of *Arabidopsis thaliana* development

Markus Schmid¹, Timothy S Davison^{1,2}, Stefan R Henz¹, Utz J Pape³, Monika Demar¹, Martin Vingron³, Bernhard Schölkopf², Detlef Weigel^{1,4} & Jan U Lohmann¹

Regulatory regions of plant genes tend to be more compact than those of animal genes, but the complement of transcription factors encoded in plant genomes is as large or larger than that found in those of animals¹. Plants therefore provide an opportunity to study how transcriptional programs control multicellular development. We analyzed global gene expression during development of the reference plant *Arabidopsis thaliana* in samples covering many stages, from embryogenesis to senescence, and diverse organs. Here, we provide a first analysis of this data set, which is part of the ATGenExpress expression atlas. We observed that the expression levels of transcription factor genes and signal transduction components are similar to those of metabolic genes. Examining the expression patterns of large gene families, we found that they are often more similar than would be expected by chance, indicating that many gene families have been co-opted for specific developmental processes.

Transcriptional programs are important in the development of multicellular organisms. In contrast to most animals, plants develop continuously, with new organs being initiated and elaborated throughout the life cycle of the organism. As a consequence, individuals consist of repeated units, such as leaves or flowers, which are present in many developmental stages at any given time of the life cycle. It follows that many transcriptional programs underlying the development of different organ systems are continuously active.

To elucidate these programs, we obtained triplicate expression estimates from 79 diverse samples (Supplementary Tables 1 and 2 and Supplementary Fig. 1 online). We used Affymetrix ATH1 arrays, which contain 22,746 probe sets, corresponding to > 80% of known genes^{1,2}. Many well-studied genes showed profiles consistent with their described expression, but several had additional, often unexpected, expression domains (Supplementary Fig. 2 online). To assess the sensitivity of our sampling, we first compared our data set with other *Arabidopsis* data sets: one in which four samples (seedlings, flowers, root and suspension cell culture) had been analyzed on a full genome tiling array³, and one in which ATH1 arrays had been used in

combination with cell sorting of root tissue³. As expected, our more extensive sampling increased overall sensitivity; we detected expression of 20,052 genes, 4,547 of which were not found with full-genome tiling arrays (Fig. 1a). We missed 754 genes present in the latter set, probably owing to higher sensitivity of the tiling array and the inclusion of suspension cells, which are very different from any of the samples in our collection. Similarly, across our seven root samples, we did not detect 392 genes present in the cell-sorted set³, although we found 352 of these in remaining samples. Conversely, 1,767 genes detected in our root samples were not found after cell sorting, probably because we analyzed a larger portion of the root. Furthermore, expression levels in sorted cells correlated well with those measured in entire roots, indicating that most transcripts are not cell type-specific (Supplementary Fig. 3 online).

The number of detected genes was similar in most samples, ranging from 55% to 67% of genes on the array. Exceptions are mature seeds, in which only 44% of genes were detected, as well as pollen, in which, consistent with a previous report⁴, only 26% of genes were detected (Supplementary Fig. 4 online). The similar number of mRNAs found in each sample reflects a large overlap in transcripts present even in very distinct tissues, averaging 92% (s.d. = 3.6%). Therefore, we examined how the number of detected genes changed when we analyzed individual parts of organ systems, such as flowers. Compared with the entire flower, separate profiling of the four major floral organs at two stages increased the number of detected genes by 11%, showing the benefit of more detailed sampling.

Despite the similar number of active genes in each sample, underlying expression dynamics vary greatly in tissues. We found that leaves are the prototypic organ system, because the levels of expression of most genes in this tissue were similar to their overall averages (Fig. 1b). In contrast, relative expression levels in roots were shifted towards higher values, whereas those in apex and flower samples could be easily distinguished from those in leaves by their bimodal distribution. Again, pollen stood apart by having a much broader range of expression levels, marked by an almost even distribution of genes that were expressed at or below average levels, with few expressed above average levels.

¹Max Planck Institute for Developmental Biology, Spemannstrasse 37-39, 72076 Tübingen, Germany. ²Max Planck Institute for Biological Cybernetics, Spemannstrasse 38, 72076 Tübingen, Germany. ³Max Planck Institute for Molecular Genetics, Ihnestrasse 73, 14195 Berlin, Germany. ⁴Salk Institute for Biological Studies, 10010 North Torrey Pines Road, La Jolla, California 92037, USA. Correspondence should be addressed to D.W. (weigel@weigelworld.org).

Published online 3 April 2005; doi:10.1038/ng1543

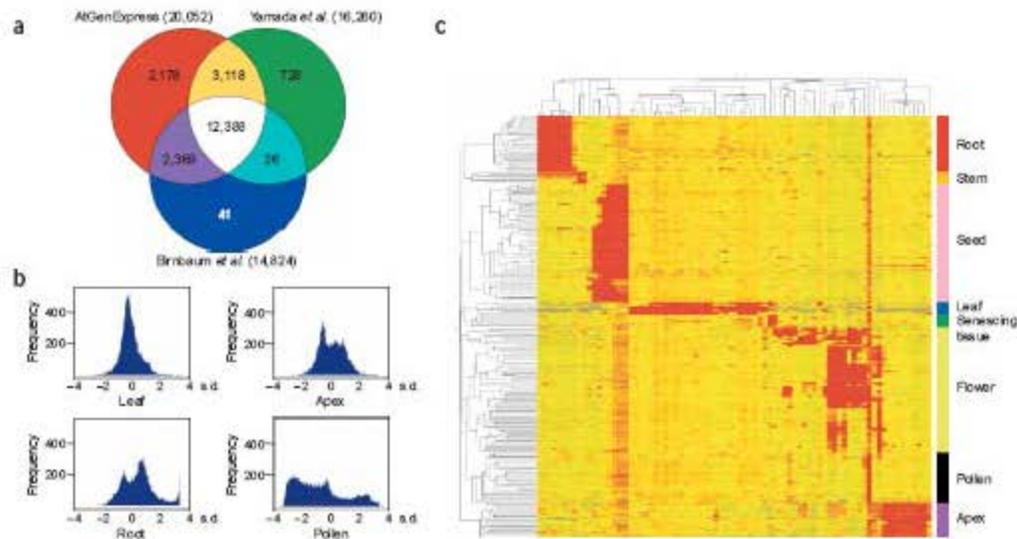


Figure 1 Expressed genes, expression dynamics and marker genes. (a) Comparison of detected genes in three different expression studies. AtGenExpress, this study; Birbaum et al., another study using Affymetrix ATH1 arrays and sorted root cells³; Yamada et al., a study using whole genome tiling arrays². (b) Histograms of relative expression levels (Z scores) show tissue-specific expression dynamics. (c) Heat map of tissue-specific marker genes. Yellow indicates low expression; red, high expression. Top, condition tree; left, gene tree.

Consistent with the substantial overlap in expressed genes between samples, there are only few specific marker genes for the major organ systems (Fig. 1c). We found more tissue-specific markers for roots and seeds than for leaves, perhaps reflecting the more specialized nature of these organ systems. It has been reported, based on analysis of mutants, that hundreds of genes distinguish different floral organs⁵. We confirmed that within organ systems, such as flowers, markers for individual organs could easily be identified. Most of these genes are also expressed in other tissues, however, demonstrating the limitation of restricting this type of analysis to a small number of samples.

Despite the large overlap in expressed genes, organ systems have distinct transcriptional signatures, as shown by principal component analysis (PCA). Overall morphological similarity was well reflected in PCA distances, whereas developmental stage or environmental conditions were only minor components (Fig. 2a). Root samples, for example, clustered together regardless of whether they were harvested one or three weeks after germination, or whether the plants had been grown on soil or agar plates. Nevertheless, we could identify two subgroups differentiated by growth substrate, with light-induced genes expressed only in the samples from agar plates. Senescence was an exception to the general trend of organ identity dominating over developmental stage, and senescing leaves did not group with other leaf samples (Fig. 2a). Still, there was strong modulation of gene expression along the time axis in specific organ systems. Focusing on seed development, we observed two main, opposing expression trends from early to late stages (Fig. 2b). Roughly 800 transcripts were induced, whereas 1,500 were repressed, including many genes encoding components of protein biosynthesis and cell cycle machinery.

By applying PCA to all genes, we identified six components that characterize ~75% of all expression trends (Fig. 2c). These

components highlight four developmental distinctions. Among these, differences between root and aerial parts and between vegetative and reproductive organs were the dominant trends, underscoring the importance of tissue identity for transcriptional signatures. Pollen stood out with two opposing components that contribute ~10% of overall expression variance, highlighting the distinctiveness of this cell type.

Across all 79 samples, only 12% of probe sets never produced a reliable signal. Among these, several annotation classes were over-represented (Fig. 2d), including pseudogenes, many of which are probably not transcribed or may be subject to nonsense-mediated RNA decay. Genes encoding hypothetical proteins also did not produce reliable signals, and it seems likely that many of them are not *bona fide* genes. Transposons were also underexpressed, consistent with the suggestion that most of them are post-transcriptionally silenced⁶.

An unexpectedly large class of genes that are never detected encodes F-box proteins (Fig. 2d). Of the 20 subfamilies of F-box genes⁷, all but one were underexpressed, arguing against a systematic misannotation. The F-box family, which encodes the regulatory subunits of a specific type of E3 ubiquitin ligase, is greatly expanded in *A. thaliana* compared with most other organisms⁷, and the diversification of the F-box gene family may have been accompanied by extreme specialization in gene expression patterns, which may explain why many of them were not detected by analysis of entire organs.

Physical location along the chromosome affects gene activity^{8–11}, although at least some of this is due to similar expression patterns of tandemly duplicated genes^{11,12}. Using sliding-window analysis, we found that genes in close proximity were much more likely to be coexpressed than would be expected by chance (Fig. 3a and Supplementary Figs. 5 and 6 online). There were a few small regions of very

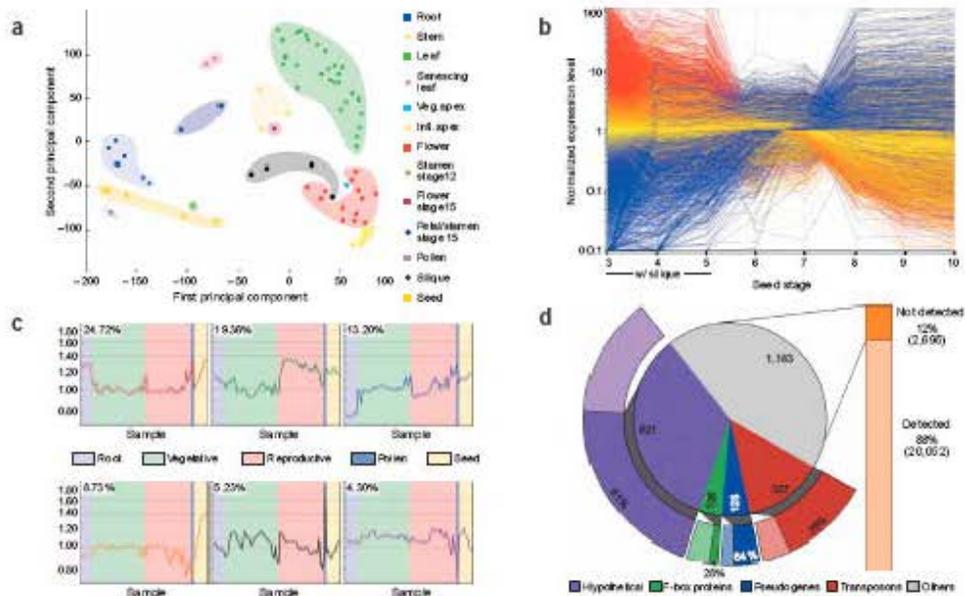


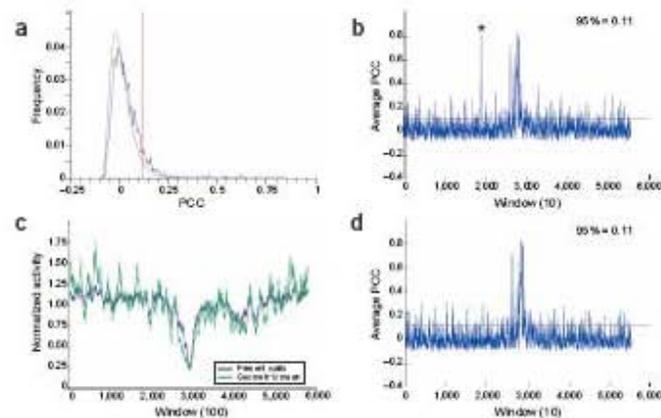
Figure 2 Global expression trends. (a) PCA applied to 79 samples identifies 13 clusters sharing similar expression signatures. (b) Expression profiles during seed development showing opposite trends of expression in two large groups of genes. (c) PCA applied to 22,746 genes identifies six trends that together explain ~75% of the total expression variance. Contribution of each component is indicated on top left. (d) Classification of genes never found to be expressed. Over-represented classes ($P < 0.001$) are colored. Pie chart represents undetected genes, with outer ring showing fraction of undetected genes in each of the four highlighted categories.

high correlation, which in most cases corresponded to tandem duplications (Fig. 3b and Supplementary Fig. 7 online). Tandem duplications did not explain all of the coexpression, however; we found significant correlation even when tandem duplications were excluded from the analysis (Fig. 3d).

In addition to coexpression, we scanned the genome for overall transcriptional activity, using either geometric means of expression estimates or cumulative 'present' calls. Despite the larger variance of the expression values, the results for both measures were largely congruent (Fig. 3c and Supplementary Fig. 8 online). Centromeric

npf

Figure 3 Sliding-window analysis of coexpression and expression levels along chromosome 1. See Supplementary Figures 5, 6 and 8 online for all chromosomes and different window sizes. (a) Distribution of average PCC of ten adjacent genes along chromosome 1 (blue line) compared with 10,000 permuted chromosomes (pink line), with tandem repeats included. The 95th percentile (95%) is indicated in red. (b) Average PCC plotted against chromosomal location, with tandem repeats included. A horizontal line indicates the 95th percentile (95%). Asterisk marks a group of ten tandemly duplicated genes with particularly high correlation. See Supplementary Figure 7 online for a detailed analysis of this genomic region. (c) Averaged expression levels along chromosome 1. Blue line indicates average present calls of 100 adjacent genes; green line, geometric means of expression levels. Both measures are normalized to a median of 1. (d) Average PCC plotted against chromosomal location without tandem repeats.



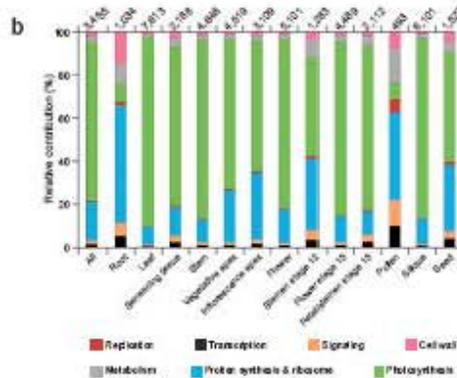
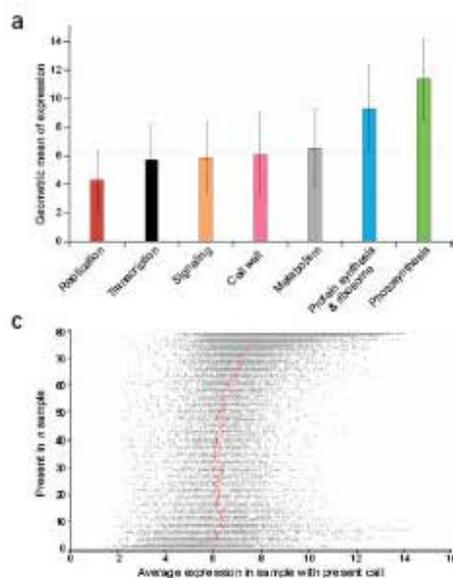


Figure 4 Expression levels of Gene Ontology categories and relationship between different measures of expression. (a) Expression levels of seven Gene Ontology categories. Red line indicates geometric mean of all genes. (b) Relative activity of Gene Ontology categories across 13 tissue clusters identified by PCA (see Fig. 2a). Numbers above each column indicate the sum of expression estimates of the seven Gene Ontology categories. (c) Relationship between number of present calls and expression level. The ordinate indicates number of samples in which each gene is detected; the abscissa, the average expression level across these samples.

regions had greatly reduced expression, as described before². Centromeres contain many transposons^{13,14}, but the reduced transcriptional activity was evident even when transposons were removed from the sliding-window analysis. Outside the centromeres, we identified regions whose transcriptional activity differed by as much as four times, significantly more than would be expected by chance (Supplementary Table 3 online).

We used Gene Ontology categories, which group functionally related genes, to assess the average expression levels of genes encoding specific classes of proteins. Contrary to previous reports¹⁵, we found that activities of transcription factor genes and genes encoding metabolic functions or signaling components were similar to the average activity for all genes. In contrast, genes encoding proteins involved in photosynthesis or protein biosynthesis were expressed at substantially higher levels, whereas genes in the replication category were underexpressed (Fig. 4a). We assessed the relative activity of Gene Ontology category members in specific tissue types and found that photosynthetic genes were most strongly expressed in leaves and were underexpressed in pollen and root, as expected (Fig. 4b). Conversely, components of protein synthesis, cell wall, metabolism and signaling systems were overexpressed, relative to other Gene Ontology categories, in pollen and root. These results changed little whether we simply used expression estimates from all samples or excluded those for which a particular gene was called 'absent', suggesting that there is a near-linear relationship between the number of present calls and cumulative expression. To test this hypothesis, we grouped genes according to the number of samples in which they are called present. The average expression level remained constant for genes active in 5–65 samples but deviated at the extremes (Fig. 4c). This might be expected, as genes that are expressed at low levels are likely to be detected in few tissues, whereas genes that are expressed at high levels should be easily detectable in most tissues.

Genes encoding proteins that are members of complexes need to be expressed in the same cells. Although there is no absolute correlation between protein and transcript levels on a genome-wide basis¹⁶, genes encoding components of conserved protein complexes such as the ribosome are co-expressed in other organisms^{17,18}. In accordance, we found that genes encoding members of protein complexes, including the proteasome and ribosome, had very similar expression profiles (Fig. 5a,c).

We next considered how expression patterns in gene families have diverged. Gene duplication may often be followed by subfunctionalization and divergence in expression, which may explain the maintenance of duplicated genes¹⁹. Although we found that tandemly or segmentally duplicated genes still showed considerable co-expression^{20,21} (Supplementary Fig. 9 online), several recent studies have shown rapid divergence in their expression patterns²². In addition, an increase in gene family size may be accompanied by progressive specialization in expression patterns²³. Successive rounds of subfunctionalization may lead to more divergent expression patterns, thereby maintaining widespread expression of an entire gene family²³. Alternatively, specialized expression patterns could be caused by preferential use of entire gene families in specific developmental processes or tissue-specific responses to the environment. Consistent with this latter explanation, we often found that large gene families had more highly correlated expression patterns than would be expected by chance (Fig. 5b and Supplementary Table 4 online). This pattern was not due to tandem duplications, because removal of all but one member of each tandem array had only a minor effect. Correlated expression was particularly notable in families encoding transcription factors, such as the WRKY family, which has major roles in pathogen defense²⁴, and the MADS family, which contains important developmental regulators²⁵ (Supplementary Fig. 10 online).

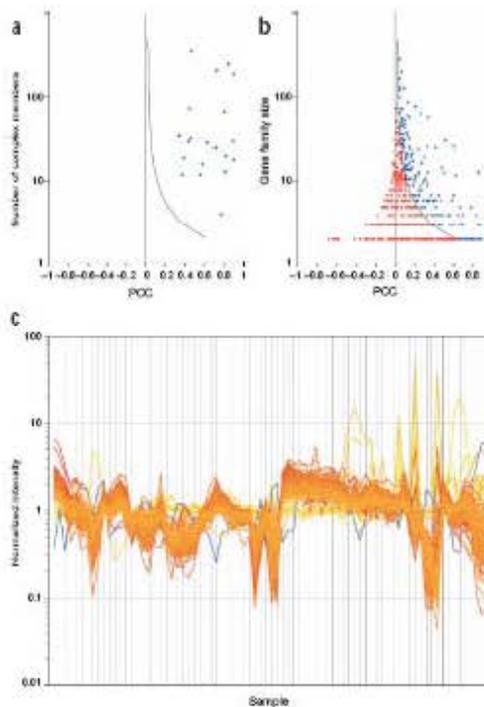


Figure 5 Coexpression of genes encoding protein complexes and gene families. (a) Average correlation coefficient of genes encoding different protein complexes plotted against number of complex members. Black line indicates 95th percentile for random sets of genes (25,000 sets for each set size). (b) Average correlation coefficient of different gene families plotted against number of gene family members. Black line indicates 95th percentile for random sets of genes. Gene families above 95th percentile are indicated in blue (see also Supplementary Table 4 online). (c) Expression profiles of 40S and 60S ribosomal genes, as an example of high coexpression among members of protein complexes.

Data extraction. We calculated expression estimates using gCRMA²² implemented in R using default settings. Expression values for the entire data set are available from our website. We obtained MAS expression estimates using GCOS 1.0 software (Affymetrix). We loaded output files from GCOS 1.0 and gCRMA into GeneSpring 6.0 (SiliconGenetics), MATLAB 6.0 or programs that were developed in-house for further analysis.

Replicate quality. We carried out least-square linear regression for each of the 79 tissues studied. We calculated the r^2 statistic and slope, which provide measures of goodness-of-fit and correlation, respectively, using the regress function in MATLAB (Supplementary Figure 1 and Supplementary Table 2).

Z scores. We converted non-normalized gCRMA expression values for all samples into Z scores using a two-step process. First, we averaged expression values for each tissue-cluster type to remove any bias introduced by the asymmetric number of members in each cluster type. From these numbers, we determined a single mean (μ_{ij}) and standard deviation (σ_{ij}) for calculation of gene expression Z scores. The Z score for the i^{th} gene in the j^{th} tissue cluster is given by the equation $z_{ij} = (x_{ij} - \mu_{ij})/\sigma_{ij}$.

Marker genes. We used absolute gCRMA expression estimates to define marker genes for samples or sample clusters defined by PCA. Probe sets that gave a robust expression estimate (gCRMA value > 6) in most arrays defining a sample or sample cluster and were absent (gCRMA value < 4) from all other samples were considered to be marker genes.

PCA. To facilitate graphical interpretation of tissue relatedness, we carried out dimensional reduction from 22,746 gene expression values to three dimensions by PCA for all 79 tissues using a kernel-PCA algorithm²³, which reduces to the conventional PCA using a linear kernel.

Present flags. We used Affymetrix present, marginal and absent flags as an indicator of whether or not a gene was expressed. Only probe sets that gave a present call in all three replicates were considered to be truly present. We calculated cumulative present calls by counting the samples in which a given probe set had been called present. We carried out sliding-window analysis of the cumulative present calls using 100 adjacent probe sets and subsequent normalization of the average of all windows to 1.

Chromosomal coexpression. To determine the degree of coexpression along the chromosome, we calculated the average Pearson correlation coefficients (PCCs) for all 45 possible probe set pairs within a window of ten adjacent probe sets. Only gene-specific probe sets that could unambiguously be matched to a chromosomal position were used. We chose the 95th percentile using 10,000 permuted chromosomes as a significance threshold. To test whether the distribution of PCCs in natural and permuted chromosomes differs, we calculated the P value with a permutation test²⁴. We also determined PCCs for window sizes of 5 and 15 (Supplementary Fig. 6). Use of the Spearman rank correlation coefficient gave results comparable to those obtained using PCC (data not shown).

Definition of gene lists. We obtained Gene Ontology and gene family lists from TAIR. We created lists of transcription factor genes and protein complexes in accordance with the TIGR 5.0 annotation of the *A. thaliana* genome or obtained them from the research community.

Gene family pairwise PCCs. We determined pairwise PCCs of \log_2 expression values across all 79 tissues for gene family lists both with and without tandemly

In summary, we provide an expression map that covers a wide range of developmental stages, organs and organ systems in the reference plant *A. thaliana*. An important next step will be the generation of a corresponding protein interaction map. Combined with expression data, this will enable the identification of functional modules that control plant development, as shown for other model organisms²⁵. Our data are part of the public AtGenExpress expression atlas, which was generated on the widely available Affymetrix ATH1 array platform. Therefore, new sets of microarray data, including those from mutants or different wild-type strains, can be easily related to and integrated into AtGenExpress. In addition, AtGenExpress contains overlapping samples for integration of data generated on another popular platform for *Arabidopsis* microarrays²⁷.

METHODS

Plant material. All plants were in the Columbia (Col-0) background. Details of genotype, age and tissue are given in Supplementary Table 1. All plant material was frozen in liquid nitrogen and stored at -80°C before processing.

MIAME information, probe preparation and array hybridization. For root samples, we extracted RNA in triplicate from pooled plant material. The RNA extraction and probe synthesis protocol is described in detail in The Arabidopsis Information Resource (TAIR) and on our project website. We carried out array hybridization, washing and scanning in accordance with Affymetrix guidelines using a Hybridization Oven 640, a Fluidix Station 450 and a GeneChip Scanner 3000. MIAME information describing the 79 samples, as well as raw microarray data, including Affymetrix .CEL files, are available at TAIR and from ArrayExpress.

repeated genes²¹. We determined mean PCC values by averaging over all unique PCCs in a given list. We assessed statistical significance of the mean PCC value for each list by comparison with the 95th percentile of the distribution of the mean PCC from 25,000 randomly generated lists containing a corresponding number of genes.

URLs. TAIR is available at <http://www.arabidopsis.org/>. Our project website is <http://weigeworld.org/>. The R program is available at <http://bioconductor.org/> and <http://www.r-project.org/>. Information on PCCs and Spearman rank correlation coefficients is available at <http://mathworld.wolfram.com/CorrelationCoefficient.html> and at <http://mathworld.wolfram.com/SpearmanRankCoefficient.html>, respectively.

ArrayExpress accession number. E-AMX-9.

Note. Supplementary information is available on the Nature Genetics website

ACKNOWLEDGMENTS

We thank E. Mehrrens, B. Weissbart, R. Heidstra, B. Scheres, M. Yoshikawa, S. Poethig, D. Twill and the CAGE consortium (M. Kuiper, M. Vajtzek, J.P. Renou, E. Bitton and M. Luitjen) for providing RNA samples; P. Benley and A. Zien for discussions; and K. Bomblies, R. Clark and A. Mukel for comments on the manuscript. This work was supported by the Deutsche Forschungsgemeinschaft through a grant to L. Novak, T. Altmann and D.W. and by the Max Planck Society. D.W. is a director of the Max Planck Institute.

COMPETING INTERESTS STATEMENT

The authors declare that they have no competing financial interests.

Received 22 December 2004; accepted 24 February 2005

Published online at <http://www.nature.com/naturegenetics/>

- The Arabidopsis Genome Initiative. Analysis of the genome sequence of the flowering plant *Arabidopsis thaliana*. *Nature* **408**, 796–815 (2000).
- Yamada, K. *et al.* Empirical analysis of transcriptional activity in the Arabidopsis genome. *Science* **302**, 842–846 (2003).
- Birnbaum, K. *et al.* A gene expression map of the Arabidopsis root. *Science* **302**, 1956–1960 (2003).
- Becker, J.D., Boavida, L.C., Carneiro, J., Haury, M. & Fejo, J.A. Transcriptional profiling of Arabidopsis tissues reveals the unique characteristics of the pollen transcriptome. *Plant Physiol.* **133**, 713–725 (2003).
- Wellmer, F., Reichmann, J.L., Aves-Ferreira, M. & Meyerowitz, E.M. Genome-wide analysis of spatial gene expression in Arabidopsis flowers. *Plant Cell* **16**, 1314–1326 (2004).
- Lippman, Z. & Martienssen, R. The role of RNA interference in heterochromatic silencing. *Nature* **431**, 364–370 (2004).
- Gagne, J.M., Downes, B.P., Shiu, S.H., Durski, A.M. & Venter, R.D. The F-box subunit of the SCF E3 complex is encoded by a diverse superfamily of genes in Arabidopsis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **99**, 11519–11524 (2002).
- Spellman, P.T. & Rubin, G.M. Evidence for large domains of similarly expressed genes in the *Drosophila* genome. *J. Biol.* **1**, 5 (2002).
- Cohen, B.A., Mitra, R.D., Hughes, J.D. & Church, G.M. A computational analysis of whole-genome expression data reveals chromosomal domains of gene expression. *Nat. Genet.* **26**, 183–186 (2000).
- Lercher, M.J., Urutka, A.O. & Hurst, L.D. Clustering of housekeeping genes provides a unified model of gene order in the human genome. *Nat. Genet.* **31**, 180–183 (2002).
- Williams, E.J. & Bowles, D.J. Coexpression of neighboring genes in the genome of *Arabidopsis thaliana*. *Genome Res.* **14**, 1060–1067 (2004).
- Lercher, M.J., Brumenthal, T. & Hurst, L.D. Coexpression of neighboring genes in *Caenorhabditis elegans* is mostly due to operons and duplicate genes. *Genome Res.* **13**, 238–243 (2003).
- Copenhaver, G.P. *et al.* Genetic definition and sequence analysis of Arabidopsis centromeres. *Science* **285**, 2468–2474 (1999).
- Fransz, P.F. *et al.* Integrated cytogenetic map of chromosome arm 4S of *A. thaliana*: structural organization of heterochromatic knob and centromere region. *Cell* **100**, 367–376 (2000).
- Czechowski, T., Bari, R.P., Stitt, M., Scheible, W.R. & Udvardi, M.K. Real-time RT-PCR profiling of over 1400 Arabidopsis transcription factors: unprecedented sensitivity reveals novel root- and shoot-specific genes. *Plant J.* **38**, 366–379 (2004).
- Beyer, A., Hollander, J., Nachevar, H.P. & Wilhelm, T. Post-transcriptional expression regulation in the yeast *Saccharomyces cerevisiae* on a genomic scale. *Mol. Cell Proteomics* **3**, 1083–1092 (2004).
- Eisen, M.B., Spellman, P.T., Brown, P.O. & Botstein, D. Cluster analysis and display of genome-wide expression patterns. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **95**, 14863–14868 (1998).
- Jansen, R., Greenbaum, D. & Gerstein, M. Relating whole-genome expression data with protein-protein interactions. *Genome Res.* **12**, 37–46 (2002).
- Fores, A. *et al.* Preservation of duplicate genes by complementary, degenerative mutations. *Genetics* **151**, 1531–1545 (1999).
- Blanc, G. & Wolfe, K.H. Functional divergence of duplicated genes formed by polyploidy during Arabidopsis evolution. *Plant Cell* **16**, 1679–1691 (2004).
- Haberer, G., Hindemitt, T., Meyers, B.C. & Mayer, K.F. Transcriptional similarities, dissimilarities, and conservation of cis-elements in duplicated genes of Arabidopsis. *Plant Physiol.* **136**, 3009–3022 (2004).
- Gu, Z., Nicolae, D., Lu, H.H. & Li, W.H. Rapid divergence in expression between duplicate genes inferred from microarray data. *Trends Genet.* **18**, 609–613 (2002).
- Huminicki, L. & Wolfe, K.H. Divergence of spatial gene expression profiles following species-specific gene duplications in human and mouse. *Genome Res.* **14**, 1870–1879 (2004).
- Eulgem, T., Rushton, P.J., Robatzek, S. & Somssich, I.E. The WRKY superfamily of plant transcription factors. *Trends Plant Sci.* **5**, 199–206 (2000).
- Becker, A. & Thissen, G. The major clades of MAD5-box genes and their role in the development and evolution of flowering plants. *Mol. Phylogenet. Evol.* **29**, 464–489 (2003).
- Tomow, S. & Mewes, H.W. Functional modules by relating protein interaction networks and gene expression. *Nucleic Acids Res.* **31**, 6283–6289 (2003).
- Allemarich, J. *et al.* Benchmarking the CATMA microarray: A novel tool for Arabidopsis transcriptome analysis. *Plant Physiol.* **137**, 588–601 (2005).
- Wu, Z., Izziy, R.A., Gentleman, R., Mullilo, F.M. & Spencer, F. A model based background adjustment for oligonucleotide expression arrays. in *Dept. of Biostatistics Working Papers, Working Paper 1* (Johns Hopkins University, 2004).
- Schölkopf, B., Smola, A.J. & Müller, K.-R. Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem. *Neural Comput.* **10**, 1299–1319 (1998).
- Hsing, T., Tibor, S. & Dougherty, E. Relation between permutation-test P values and classifier error estimates. *Machine Learning* **52**, 11–30 (2004).

Relatoría sobre la lectura y discusión de un artículo

Por Mariana Benítez

Cada jueves se lleva a cabo en el jardín del Instituto de Ecología un seminario en que participamos estudiantes e investigadores interesados en temas de desarrollo y evolución en plantas. Entre los integrantes de dicho seminario hay biólogos, matemáticos y físicos de formación, todos con interés por el resto de las áreas y todos convencidos de que la comprensión de fenómenos como el desarrollo vegetal requiere de un enfoque multidisciplinario.

El último jueves se discutió un artículo de reciente publicación en la revista *Nature*⁴. Este artículo se seleccionó debido a que parecía reunir una gran cantidad de datos generales y relevantes que podrían complementar o ampliar modelos en que hemos trabajado durante los últimos meses. Desde que se escogió este artículo para ser discutido, notamos que tenía poco texto y muchas ilustraciones sumamente atractivas.

Tras haber leído el artículo citado, todos asistentes al seminario comenzamos la reunión con la sensación de que el artículo ofrecía información relevante, pero también de que no habíamos entendido todos los resultados presentados. Curiosamente, los biólogos atribuimos este hecho a la falta de conocimiento matemático, mientras que los físicos y matemáticos a la falta de información biológica. Al darnos cuenta de que estábamos en la misma situación y de

⁴ *A gene expression map of Arabidopsis thaliana development*. Schmid, M. et al. *Nature* (Advance online publication), 2005.

que nuestras dificultades en la comprensión del artículo no se debían, al menos únicamente, a las deficiencias de cada quién en distintas áreas del conocimiento, decidimos puntualizar los aspectos que eran claros para todos y revisar con detalle aquéllos que no lo eran.

Extrañamente, los aspectos que resultaban confusos para todos eran prácticamente los mismos y se referían a la interpretación de algunas de las ilustraciones. Una de las ilustraciones, por ejemplo, consistía en un *heatmap* que reunía una enorme cantidad de resultados obtenidos a partir de un experimento con microarreglos⁵. De esta manera, la lectura colectiva y discusión del artículo se tradujo prácticamente en la interpretación y disección algunas de las ilustraciones, las cuales coincidían en el hecho de densificar una gran cantidad de información.

Una vez habiendo revisado cuidadosamente las ilustraciones coincidimos en que éstas ofrecían información cualitativa muy general sobre la enorme cantidad de resultados que los autores obtuvieron. Definitivamente, este tipo de información permite distinguir algunos aspectos panorámicos relevantes de la investigación, pero de ninguna manera permite una comprensión detallada del trabajo, ni tampoco la utilización de los datos y resultados en la realización de otros trabajos. De hecho, en algunos casos la falta de precisión en las ilustraciones las hace confusas. Por ello, concluimos que si se deseaba ahondar en la información que ofrecía el artículo y más aún, si se intentaba hacer uso de los resultados presentados, era indispensable consultar las bases de datos y el material complementario en línea a los cuales se hace referencia en el artículo.

En los últimos años, se han desarrollado notablemente áreas de la biología como la genómica y la proteómica. Las investigaciones realizadas en estas áreas se apoyan en técnicas novedosas que frecuentemente generan una enorme cantidad de datos. Ante este hecho, las disciplinas emergentes, y en general la biología molecular, se han enfrentado al reto de presentar y procesar tal cantidad de información de manera que el lector pueda abstraer los aspectos más relevantes de la información.

Este hecho ha resultado en la aparición de nuevas y diversas formas de presentar resultados gráficamente y ha generado imágenes que densifican una gran cantidad de información (a tal grado que pueden sustituir al texto), que son generadas con programas computacionales especializados y que, además, frecuentemente tienen valor estético propio.

Así mismo, los trabajos de secuenciación de genomas o de pruebas con microarreglos, por ejemplo, se enfrentan a otro reto. Dado que estas investigaciones generan información muy abundante sobre un organismo, ésta es utilizada por científicos que trabajan en campos muy diversos de la biología. Por ello, es necesario que los resultados obtenidos en trabajos como los que se mencionaron también sean accesibles para un científico que trabaje en casi cualquier área de la biología o incluso para científicos que no sean biólogos de formación pero que colaboren en grupos multidisciplinarios.

⁵ La técnica de *microarreglos* permite determinar qué genes se expresan, es decir, están activos, en determinadas partes de un organismo, en determinados momentos de su vida.

Al parecer, la presentación de los resultados de las disciplinas y técnicas emergentes es una labor complicada que requiere de una amplia cultura científica y, sobretodo, de mucha creatividad.

Es posible que en el seminario de los jueves se haya complicado la discusión del artículo mencionado debido a que aún estamos poco familiarizados con los nuevos tipos de ilustraciones científicas. Sin embargo, creo que la confusión se debió, al menos parcialmente, a que algunas de las ilustraciones altamente densificadas resultaron poco claras. Por lo pronto acordamos consultar el material complementario en línea y meditar un poco más sobre el artículo para continuar discutiéndolo el jueves siguiente.

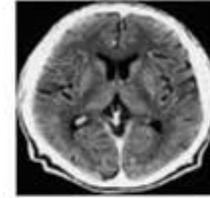
9.7 METADATOS DESCRIPTIVOS

**IMAGEN
PICTÓRICA**

-REPLICA (REG)



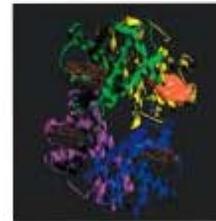
-VISUALIZACIÓN TÉCNICA (REG)



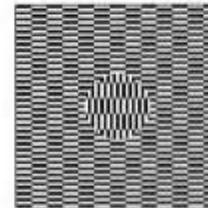
-METÁFORA (PRES)



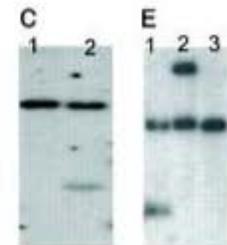
-MODELO (PRES)



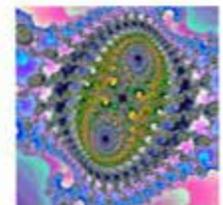
-ABSTRACTA (PRES)



-DE DATOS EXPERIMENTALES (REG)

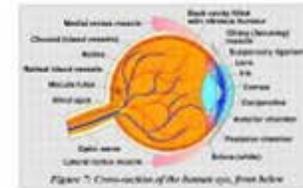


-DE VISUALIZACION MATEMATICA (VIS)

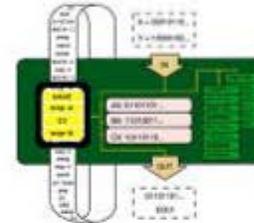


DIAGRAMA

ANÁLOGO (PRES)



LÓGICO (PRES)

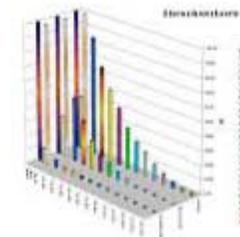


GRAFICACIÓN

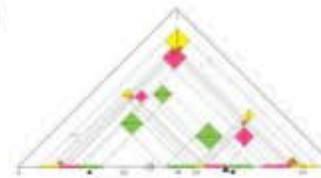
-DE DATOS SENSORIALES (REG)



-PRESENTACIONAL (PRES)



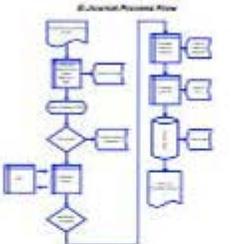
-DE VISUALIZACIÓN COMPUTACIONAL (VIS)



MAPA

ANÁLOGO (PRES)

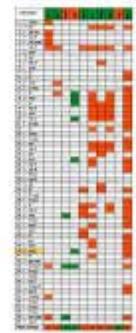
LÓGICO (PRES)



SEMIGRÁFICO

-TEXTO GRÁFICO (PRES)

-CUADRO GRÁFICO (PRES)



292
TEXTO

-LENGUAJE NATURAL (PRES)

-LENGUAJE FORMAL (PRES)



$$\begin{aligned}
 y_0 &= A + Bx_0 + Cx_0^2 + Dx_0^3 \\
 y_1 &= A + Bx_1 + Cx_1^2 + Dx_1^3 \\
 y_2 &= B + 2Cx_2 + 3Dx_2^2 \\
 y_3 &= B + 2Cx_3 + 3Dx_3^2 \\
 y_4 &= 2C + 6Dx_4 \\
 y_5 &= 2C + 6Dx_5
 \end{aligned}$$