

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE BELLAS ARTES
Departamento de Dibujo II (Diseño e Imagen)



**LA DIMENSIÓN COMUNICATIVA DE LA
IMAGEN CIENTÍFICA: REPRESENTACIÓN
GRÁFICA DE CONCEPTOS EN LAS CIENCIAS DE
LA VIDA.**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
PRESENTADA POR**

Óscar Hernández Muñoz

Bajo la dirección del doctor

Antonio Muñoz Carrión

Madrid, 2010

ISBN: 978-84-693-8255-4

© Óscar Hernández Muñoz, 2010

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE BELLAS ARTES

Departamento de Dibujo II (Diseño e Imagen)



TESIS DOCTORAL

**LA DIMENSIÓN COMUNICATIVA DE LA IMAGEN CIENTÍFICA:
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CONCEPTOS EN LAS
CIENCIAS DE LA VIDA**

ÓSCAR HERNÁNDEZ MUÑOZ

Director: Dr. ANTONIO MUÑOZ CARRIÓN

Madrid, 2010

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Antonio Muñoz Carrión, por guiarme con sabiduría en la realización de este trabajo, así como por su dedicación y apoyo personal en los momentos más necesarios.

También quiero dar las gracias a mi mujer por animarme constantemente y respaldarme en las situaciones difíciles.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	1
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	13
METODOLOGÍA	17
MARCO TEÓRICO	23
1 LA COMUNICACIÓN VISUAL DE CARÁCTER CIENTÍFICO	27
1.1 La comunicación visual.....	27
1.1.1 <i>La imagen como herramienta de comunicación visual</i>	28
La imagen en nuestra sociedad	29
Visualización de información	32
1.2 Ciencia y comunicación visual.....	33
1.2.1 <i>La comunicación científica a través de imágenes</i>	34
1.2.2 <i>Ilustración científica</i>	36
1.2.3 <i>Características específicas de la imagen científica</i>	39
1.2.4 <i>Funciones de las ilustraciones científicas</i>	44
1.2.5 <i>Tipos de ilustración científica</i>	47
La ilustración tradicional.....	47
La fotografía científica.....	51
El vídeo científico	54
La ilustración digital	55
Imágenes obtenidas con aparatos de análisis o diagnóstico	57
Los diagramas científicos.....	58
Las gráficas científicas.....	59

2	TEORÍA DE LA IMAGEN COMO BASE PARA EL ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS.....	61
2.1	Teorías en relación con la percepción visual.....	61
2.1.1	<i>El sistema visual</i>	63
2.1.2	<i>Teorías acerca de la organización perceptual y reconocimiento visual de objetos</i>	67
	Estructuralismo	68
	Enfoque gestáltico.....	69
	Enfoque computacional de Marr	84
	La teoría de integración de características de Treisman.....	85
	Teoría del reconocimiento por componentes de Biederman	86
2.1.3	<i>La percepción del color</i>	88
	Fundamentos fisiológicos de la visión del color	88
2.1.4	<i>La percepción de la profundidad y del tamaño</i>	97
	Claves monoculares de percepción de profundidad.....	97
	Claves binoculares de profundidad	105
2.1.5	<i>La percepción del movimiento</i>	107
	Movimiento real.....	107
	Movimiento aparente	108
	Movimiento inducido	108
	Postefecto de movimiento	109
	Teorías fisiológicas sobre la percepción de movimiento	109
	Participación del movimiento en la organización perceptiva...	110
2.2	Teorías semiológicas.....	111
2.2.1	<i>Semiótica de la imagen</i>	112
	Orígenes de la semiótica de la imagen	112
	El iconismo	113
	Unidades elementales de significado en la imagen estática aislada	120
	Representación del tiempo y del espacio.....	148
2.2.2	<i>Semiología gráfica</i>	170
	Estudios sobre la presentación e interpretación de las gráficas científicas	170
	Factores que afectan a la interpretación de gráficas	183

PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS.....	189
1 NECESIDAD DE UN NUEVO MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LA IMAGEN CIENTÍFICA	193
2 DISCUSIÓN SOBRE TEORÍAS DE LA IMAGEN PREVIAS.....	194
3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	202
3.1 Los elementos morfológicos de la imagen.....	202
3.1.1 Componentes de la forma: relleno y trazo.....	203
3.1.2 Cualidades o características del relleno y del trazo.....	206
3.1.3 Jerarquía de las cualidades de la forma.....	218
3.2 La sintaxis de la imagen	221
3.2.1 Tipos de relación entre formas	223
3.2.2 Efectos derivados de la combinación de formas	224
3.3 Temática o significado de la imagen.....	226
3.3.1 La composición.....	227
3.3.2 El contexto.....	228
ESTUDIOS REALIZADOS	231
1 ESTUDIO I: ANÁLISIS DE LAS ILUSTRACIONES INCLUIDAS EN TRATADOS CIENTÍFICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS INVOLUCRADOS EN LA REPRESENTACIÓN DE CONCEPTOS.....	235
1.1 Justificación	235
1.2 Objetivos.....	237
1.3 Metodología	237
1.3.1 Determinación de la muestra de estudio	237
1.3.2 Datos registrados.....	240
1.3.3 Análisis de datos.....	240
1.4 Resultados.....	241
1.4.1 Análisis de conceptos y recursos.....	244
Acción.....	244
Actividad	251

Cambio morfológico.....	253
Destrucción	260
Diferencia entre elementos.....	262
División	273
Energía	275
Filogenia	281
Morfología del modelo	284
Movimiento	304
Reacción química.....	317
Temporalidad.....	318
Unión	322
1.4.2 <i>Combinaciones de recursos más prevalentes</i>	323
1.5 Conclusiones del Estudio I	325
1.5.1 <i>Conceptos y combinaciones de recursos</i>	325
1.5.2 <i>Integración de ilustraciones y diagramas</i>	331
2 ESTUDIO II: ANÁLISIS DE LAS ILUSTRACIONES VINCULADAS A GRÁFICAS CIENTÍFICAS	335
2.1 Justificación	335
2.2 Objetivos.....	336
2.3 Metodología	336
2.3.1 <i>Determinación de la muestra de estudio</i>	336
2.3.2 <i>Datos registrados</i>	337
2.3.3 <i>Análisis de datos</i>	338
2.4 Resultados.....	338
2.4.1 <i>Tipos de ilustraciones vinculadas a gráficas</i>	338
2.4.2 <i>Características de las ilustraciones vinculadas a gráficas</i>	343
2.5 Conclusiones del Estudio II	347
CONCLUSIONES DE LA TESIS.....	351
1 CONCEPTOS IDENTIFICADOS Y COMBINACIONES DE RECURSOS GRÁFICOS PARA SU REPRESENTACIÓN	353

2	IMPORTANCIA DE LAS TEORÍAS DE LA PERCEPCIÓN PARA LA REPRESENTACIÓN DE CONCEPTOS EN ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA.....	355
2.1	Técnicas de representación relacionadas con la organización de la percepción	355
2.2	Representación del espacio.....	358
2.3	Representación del movimiento.....	360
2.4	Representación de la temporalidad	360
3	EFFECTIVIDAD Y CONSISTENCIA DEL MODELO TEÓRICO PROPUESTO	361
4	NECESIDAD DE CONSENSO PARA LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS.....	362
5	PAPEL PRESENTE Y FUTURO DE LA ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA	365
5.1	Imagen frente a texto	366
5.2	Ilustración y fotografía	368
5.3	Posible vigencia en el futuro de los recursos empleados actualmente en la representación de conceptos científicos	372
	GLOSARIO DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS	383
	ÍNDICE DE FIGURAS	393
	BIBLIOGRAFÍA.....	415

PRESENTACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

PRESENTACIÓN Y ESTRUCTURA DE LA TESIS

Esta tesis se centra en el estudio de la representación gráfica de conceptos científicos, un asunto totalmente crucial para la comunicación en el ámbito de la ciencia debido a la necesidad que ésta tiene de cumplir unos criterios básicos de objetividad, rigor, exactitud y universalidad. Se trata de un trabajo eminentemente práctico, cuyo núcleo principal son **dos estudios en los que se analiza de forma exhaustiva una amplia muestra de 3993 ilustraciones científicas** con el fin de determinar las combinaciones de recursos gráficos empleados para la expresión de ideas concretas.

Estructura de la tesis

En el apartado de **justificación**, además de explicar la pertinencia de la presente tesis, se exponen los aspectos novedosos que pretende aportar. A continuación se presentan los **objetivos** y la **metodología** seguida para su desarrollo.

El apartado de **marco teórico** resume algunos de los conocimientos existentes acerca de algunas de las materias relacionadas con el objeto de estudio de esta tesis. En ningún momento se ha pretendido realizar una revisión sistemática sobre estas cuestiones sino aportar los datos necesarios para la creación de un esquema teórico que permita analizar las imágenes científicas de una forma eficaz, así como para la interpretación de los resultados obtenidos en los dos estudios desarrollados. Inicialmente se abordan aspectos relacionados con la comunicación visual de carácter científico y sobre ilustración científica, especialmente sobre sus características y funciones. Posteriormente se describen las teorías más destacadas acerca de la percepción visual, algo que resulta fundamental para la búsqueda de un lenguaje

gráfico universal, basado lo menos posible en convencionalismos que pueden tener una caducidad temporal o un carácter local. Finalmente, se exponen de manera resumida algunas de las teorías semiológicas más importantes, tanto las orientadas a la imagen en general como a las gráficas en particular. En este último apartado se ha prestado una especial atención a las teorías existentes sobre los elementos morfológicos de la imagen estática aislada. Esto se ha debido a que uno de las principales novedades de esta tesis es la de aportar un modelo teórico sobre la morfología y sintaxis de la imagen que pueda ser aplicado en la práctica en ilustración científica.

En el apartado denominado **propuesta de un nuevo modelo teórico para el análisis y elaboración de imágenes científicas**, se discuten en primer lugar aquellos aspectos por los cuales los modelos previos resultan inapropiados para este fin. Posteriormente se explica el modelo propuesto por el autor de esta tesis, estableciendo los elementos morfológicos, así como su estructuración sintáctica básica.

A continuación, **el núcleo central de este trabajo está constituido por dos estudios de gran envergadura que investigan la representación de conceptos científicos por medio de imágenes** en las principales disciplinas científicas que estudian los seres vivos. La muestra de imágenes considerada es la más amplia que se ha analizado hasta el momento en un estudio de estas características (3894 figuras en el Estudio I y 99 figuras en el Estudio II).

En el **Estudio I** el análisis se centra en las ilustraciones que aparecen aisladas o incorporadas en diagramas científicos, identificando los diferentes conceptos

representados y las combinaciones de recursos gráficos empleadas para ello (ver página 235).

En el **Estudio II** se analizan las ilustraciones que se encuentran vinculadas a gráficas para determinar la función que éstas ejercen en relación con la figura y las características específicas que poseen en cada caso (ver página 335).

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

La información visual ha adquirido un especial protagonismo en los diferentes medios de comunicación de nuestra sociedad, trascendiendo a todos los campos de la actividad humana: ocio, ciencia, educación, derecho, economía, etc. Este fenómeno se ha puesto de manifiesto también en los procesos de transmisión de conocimientos en el mundo de la ciencia, lo que ha conllevado un incremento notable en el número y sofisticación de imágenes destinadas a la representación de conceptos en sus distintas especialidades.

Las especiales características de la imagen científica, tales como el rigor, la exactitud o la objetividad, exigen al ilustrador dominar los recursos y técnicas de elaboración de imágenes con el fin de reflejar fielmente los conceptos representados. Por esta razón, resulta fundamental sentar las bases teóricas que permitan en el futuro aprovechar todo el potencial de la imagen científica, más aún cuando nos encontramos ahora en pleno proceso de transformación de los métodos de representación gracias a la introducción de la informática en el mundo de la imagen. Se hace por tanto preciso un análisis de los recursos disponibles y sus posibles combinaciones de cara a representar dichos conceptos. En este sentido, numerosos tratados examinan las imágenes estáticas aisladas con el fin de describir la forma en la que éstas codifican la información (Dondis 1976; Greimas y Courtés 1982; Saint-Martin 1987; Grupo μ 1993; Arnheim 2001; Villafañe y Mínguez 2006). Uno de los puntos de partida suele ser la determinación de sus elementos gráficos fundamentales y las posibles combinaciones compositivas a partir de ellos. No obstante, no hay acuerdo entre los distintos autores en los esquemas teóricos propuestos sobre la imagen y,

sobre todo, ninguno de estos parece tener una fácil aplicación práctica para el ilustrador.

Por otra parte, hasta el momento no se ha hecho un análisis exhaustivo que determine cuáles son los conceptos básicos representados en ilustración científica, así como los recursos gráficos empleados para ello. Aunque existen diferentes guías que abordan las distintas técnicas y materiales empleados en ilustración científica, en estos manuales no se dice prácticamente nada sobre los posibles métodos que el ilustrador puede emplear para la representación gráfica de conceptos concretos.

Por este motivo, uno de los objetivos de este trabajo es identificar las posibilidades comunicativas de las diferentes variables icónicas usadas habitualmente en la comunicación científica. El producto final pretende ser la base de un manual práctico para ilustradores científicos que ayude a seleccionar los recursos gráficos más idóneos para la representación de conceptos usados frecuentemente en las publicaciones científicas. Este tipo de manuales podría contribuir a la mejor formación de los ilustradores científicos de nuestro país. Lamentablemente en España no se cuenta con estudios oficiales de ilustración científica y, por tanto, gran parte de los profesionales deben adquirir los conocimientos y la experiencia necesarios por otros medios. En este sentido puede ser de gran utilidad para los ilustradores en periodo de formación una guía especializada en esta materia.

Finalmente, aunque existen multitud de estudios tanto sobre diagramas, como sobre tablas y gráficas científicas, es difícil encontrar análisis de la integración de gráficas e ilustración en una misma figura, combinación que está siendo cada vez más frecuente en las publicaciones científica y que junto con los diagramas es una de las formas más complejas de ilustración científica y de las que mayor potencial de

comunicación presenta. Por este motivo, se ha realizado también un estudio específico de este tipo de ilustraciones para analizar sus particulares características, así como las funciones que ejercen en relación con las gráficas.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

1. Objetivo principal:

- Analizar las ilustraciones que aparecen en tratados científicos, tanto de forma aislada como integradas en diagramas y gráficas, con el fin de determinar en ellas los mecanismos involucrados en la representación de conceptos.

2. Objetivos específicos:

- Elaborar un nuevo modelo teórico sobre los elementos básicos de la imagen estática aislada y las pautas por las cuales dichas unidades se combinan para dotarla de significado.
- Identificar los principales conceptos representados en las ilustraciones científicas y describir los diferentes recursos gráficos empleados para ello.
- Analizar las ilustraciones vinculadas a gráficas científicas con el fin de determinar sus características principales y las diferentes funciones que pueden ejercer en ese entorno.

METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

Con el fin de conocer los mecanismos involucrados en la representación de conceptos en las ilustraciones científicas, se llevaron a cabo las tareas que se describen a continuación.

Elaboración del marco teórico:

Como se ha indicado previamente, el marco teórico de esta tesis no tiene en absoluto la intención de ofrecer una revisión exhaustiva de las materias tratadas sino de servir como referencia básica para la interpretación de los resultados obtenidos en los dos estudios propuestos y para la elaboración de un esquema teórico que permita analizar las imágenes científicas de una forma eficaz.

En primer lugar con objeto de establecer una referencia teórica para la tesis, se realizó una búsqueda bibliográfica sobre determinados aspectos de la comunicación científica de carácter visual y especialmente de la ilustración científica. Posteriormente, se realizó una segunda búsqueda para recopilar toda la información necesaria acerca de las teorías existentes sobre Percepción Visual. Finalmente se hizo una última revisión bibliográfica acerca de las teorías existentes sobre semiología de la imagen y semiología de la gráfica. En esta última búsqueda se prestó especial atención a los modelos propuestos para determinar los elementos de la imagen estática aislada.

Para las citadas revisiones se emplearon diferentes recursos de búsqueda. Por un lado se utilizaron las siguientes bases de datos en línea: Art full text, Humanities full text, ARTbibliographies Modern, Current Contents Connect, PubMed, PsycINFO, ERIC y CSA Linguistics and Language Behavior Abstracts. Por otra parte, se recurrió a los

siguientes catálogos en línea: Catálogo general de la UCM, Consorcio Madroño, Catálogo colectivo de REBIUN (Red de Bibliotecas Universitarias).

Realización de los dos estudios

La descripción detallada de la metodología seguida en los dos estudios centrales de esta tesis puede consultarse al principio de los mismos (páginas 237 y 336 respectivamente). No obstante, ambos están realizados siguiendo un método similar que se resume a continuación.

Selección de la muestra

El estudio se centró en aquellas disciplinas científicas que estudian los seres vivos. En ambos estudios se analizaron las ilustraciones presentes en los nueve tratados de mayor frecuencia de préstamo de las principales materias estudiadas en los dos primeros años de las licenciaturas de Biología, Medicina y Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid. La selección de las tres citadas licenciaturas se basó en su carácter más generalista y globalizador en comparación con otros estudios.

El número de figuras analizadas fue realmente importante, ascendiendo a 3894 en el Estudio I y a 99 en el Estudio II, lo que da una idea del enorme volumen de datos analizados y de la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Registro de datos

En cada uno de los dos estudios, los datos hallados fueron incorporados a una base de datos creada mediante Microsoft Access 2007®. En el **Estudio I** principalmente se registraron los conceptos identificados y los recursos empleados para su representación (ver página 240). En el **Estudio II** se incorporaron, además de

los datos anteriores, las funciones ejercidas por cada ilustración en relación con la gráfica a la que estaba vinculada (ver página 337).

Análisis de datos

Para el análisis de datos, se realizaron diferentes tablas de cálculo con Microsoft Excel 2007®. En el **Estudio I** se analizó la forma de combinación de los recursos anteriormente identificados, determinando las variantes más frecuentemente empleadas para la representación de cada uno de los conceptos encontrados (ver página 240). En el **Estudio II** se estudiaron las características que poseían las ilustraciones según la función desempeñada en la gráfica (ver página 338).

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

1	LA COMUNICACIÓN VISUAL DE CARÁCTER CIENTÍFICO	27
1.1	La comunicación visual.....	27
1.1.1	<i>La imagen como herramienta de comunicación visual.....</i>	28
	La imagen en nuestra sociedad	29
	Visualización de información	32
1.2	Ciencia y comunicación visual	33
1.2.1	<i>La comunicación científica a través de imágenes</i>	34
1.2.2	<i>Ilustración científica</i>	36
1.2.3	<i>Características específicas de la imagen científica</i>	39
1.2.4	<i>Funciones de las ilustraciones científicas.....</i>	44
1.2.5	<i>Tipos de ilustración científica.....</i>	47
	La ilustración tradicional.....	47
	La fotografía científica.....	51
	El vídeo científico	54
	La ilustración digital	55
	Imágenes obtenidas con aparatos de análisis o diagnóstico	57
	Los diagramas científicos.....	58
	Las gráficas científicas.....	59
2	TEORÍA DE LA IMAGEN COMO BASE PARA EL ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS.....	61
2.1	Teorías en relación con la percepción visual.....	61
2.1.1	<i>El sistema visual.....</i>	63
2.1.2	<i>Teorías acerca de la organización perceptual y reconocimiento visual de objetos.....</i>	67
	Estructuralismo	68
	Enfoque gestáltico.....	69
	Enfoque computacional de Marr	84
	La teoría de integración de características de Treisman.....	85
	Teoría del reconocimiento por componentes de Biederman	86

2.1.3	<i>La percepción del color</i>	88
	Fundamentos fisiológicos de la visión del color	88
2.1.4	<i>La percepción de la profundidad y del tamaño</i>	97
	Claves monoculares de percepción de profundidad	97
	Claves binoculares de profundidad	105
2.1.5	<i>La percepción del movimiento</i>	107
	Movimiento real.....	107
	Movimiento aparente	108
	Movimiento inducido	108
	Postefecto de movimiento	109
	Teorías fisiológicas sobre la percepción de movimiento	109
	Participación del movimiento en la organización perceptiva...	110
2.2	Teorías semiológicas.....	111
2.2.1	<i>Semiótica de la imagen</i>	112
	Orígenes de la semiótica de la imagen	112
	El iconismo	113
	Unidades elementales de significado en la imagen estática aislada	120
	Representación del tiempo y del espacio.....	148
2.2.2	<i>Semiología gráfica</i>	170
	Estudios sobre la presentación e interpretación de las gráficas científicas	170
	Factores que afectan a la interpretación de gráficas	183

1 LA COMUNICACIÓN VISUAL DE CARÁCTER CIENTÍFICO

1.1 LA COMUNICACIÓN VISUAL

De forma genérica se denomina comunicación visual a aquella que involucra al sentido de la visión. No obstante, a menudo suele tener un carácter mixto, pudiendo ser el mensaje percibido, por ejemplo, a través del oído o del tacto además de la vista. Por otra parte, al hablar de comunicación visual se suele aludir principalmente a la que tiene lugar a través de imágenes bidimensionales, aunque también es posible comunicar visualmente a través de objetos tridimensionales o del lenguaje corporal, que constituye una potente herramienta de comunicación visual.

El potencial del sistema visual para la comunicación radica en el papel fisiológico prioritario que éste tiene para la interpretación del mundo exterior en comparación con los otros sentidos. A través de la vista los seres humanos reciben la inmensa mayoría de la información procedente del medio (Ware 2000). Precisamente, la pérdida de la visión produce un grado de invalidez mayor al de cualquier otro sentido. Fisiológicamente, la importancia del sistema de la visión queda de manifiesto por la complejidad de sus órganos receptores, los ojos, y la importancia relativa de las regiones cerebrales involucradas (Rouvière y Delmas 2008). En cuanto a su capacidad comunicativa, la percepción de imágenes permite una transmisión de información extremadamente rápida, especialmente para la descripción física de entidades, aunque puede resultar más limitado que el lenguaje para la representación de ideas abstractas complejas.

1.1.1 LA IMAGEN COMO HERRAMIENTA DE COMUNICACIÓN VISUAL

La comunicación visual a través de imágenes ha sido empleada por el ser humano desde la prehistoria, como lo demuestran las pinturas de las cavernas. Posteriormente, la invención a partir del año 9000 a. C de diferentes sistemas de escritura (pictogramas, ideogramas, logogramas y lenguajes alfabéticos), permitió la transmisión más efectiva de ideas a través de la visión. También ha sido determinante en el desarrollo de la comunicación visual la evolución de los soportes y medios de expresión gráfica, desde el primitivo grabado en roca, hueso o marfil, pasando por los papiros y pergaminos, hasta la invención del papel y posteriormente de los monitores y pantallas electrónicas. No obstante, quizás el hito más destacado de la historia de la comunicación visual fue la aparición de la imprenta como método de reproducción en serie de los mensajes visuales, especialmente la de tipos móviles creada por Gutenberg en el s. XV. La llegada de las nuevas tecnologías nos ha aportado durante los pasados dos siglos potentes medios de comunicación como la fotografía, el cine, la televisión o el ordenador personal (Müller-Brockmann 2005). Todos estos medios de transmisión de información visual utilizan principalmente soportes planos, lo que hace de la imagen bidimensional la principal forma de comunicación visual en la actualidad.

La comunicación de carácter bidimensional puede emplear diferentes tipos de signos, tales como el texto o las imágenes. No obstante, con frecuencia se centra la atención en el estudio de estas últimas, ya que ofrecen la ventaja de una mayor universalidad de su significado frente a la palabra. Aunque un mensaje expresado mediante imágenes puede ser ocasionalmente interpretado de forma distinta según la cultura, lo más probable es que éste sea mejor comprendido que si se hubiese transmitido únicamente por escrito.

Este carácter global de la imagen frente a la palabra la convierte en un medio de transmisión del saber ideal para la ciencia, puesto que ésta persigue básicamente un conocimiento objetivo y universal que pueda ser compartido por toda la humanidad. En ciencia no tiene valor la reivindicación de lo local, sino que se da prioridad a la capacidad de transmisión del código empleado sobre cualquier otro condicionante. De esta manera, en este ámbito tradicionalmente se ha dado prioridad a un único idioma sobre los otros para hacer más eficaz la comunicación, así en occidente se usó durante siglos el latín y actualmente se emplea fundamentalmente el inglés. Sin embargo, la imagen no requiere de traducción en la mayoría de los casos, lo que dota a este elemento de una singular ventaja respecto al lenguaje.

Las imágenes son capaces de captar mejor la atención que el texto y aumentan el interés por el mensaje. Además, en diferentes estudios se ha demostrado una mayor capacidad de recuerdo de la información cuando ésta era acompañada de una imagen relacionada (Mayer y Gallini 1990; Peeck 1993) (Carney y Levin 2002).

LA IMAGEN EN NUESTRA SOCIEDAD

Las nuevas tecnologías aplicadas a los medios de representación gráfica han revolucionado nuestra sociedad, haciendo omnipresentes las imágenes en los procesos de comunicación pública en todos sus contextos y, fundamentalmente, en los ámbitos de comunicación de masas y de comunicación del conocimiento, tanto en contextos especializados de investigación como en el ámbito de la didáctica de la ciencia. Puede afirmarse que la visualización de todo tipo de información referida a componentes de sistemas complejos o al tipo de relaciones entre los componentes de dichos sistemas se ha trasladado a todos los ámbitos de actividad humana, hasta el extremo de que, en la actualidad, parece obligado el uso generalizado del doble discurso - lenguaje abstracto e icónico- en los procesos de comunicación científica.

Este fenómeno se ha trasladado a todos los ámbitos de actividad humana, incluyendo la educación científica. Esta evolución en las pautas de la comunicación incluye, sin duda alguna, a la educación científica. Así, por ejemplo, en los últimos años se ha producido un incremento notable de la cantidad de información gráfica incorporada incluso en las publicaciones muy especializadas de índole científica y se ha producido también una enorme cantidad de material en formato electrónico.

En realidad, dichos cambios no se refieren únicamente a la mera proliferación de discursos visuales, sino fundamentalmente, y este es uno de los temas que trataremos en esta investigación de manera prolija, a sus usos, ya que tanto las ilustraciones como las gráficas científicas ejercen un papel esencial en la transmisión del conocimiento científico, y no como un mero complemento del lenguaje escrito sino como una poderosa herramienta capaz de describir con gran eficacia fenómenos complejos de una manera totalmente autónoma al texto.

Pese a las interesantes expectativas que se abren en la transmisión del conocimiento gracias a los nuevos avances tecnológicos, conviene destacar algunos aspectos que generan una cierta incertidumbre acerca del beneficio que esto pudiera conllevar.

En primer lugar, hay que destacar la importante presión mediática que se está ejerciendo para incorporar la imagen en todo acto comunicativo. Tanto es así, que en muchos casos se está llevando a cabo un proceso de sustitución forzada de la palabra por imágenes, estáticas o en movimiento, que gracias a su alto impacto visual son capaces de captar con gran eficacia la atención del observador. Por otra parte, se ha producido en nuestra cultura un progresivo aumento en el uso de la imagen indirecta (fotográfica, televisiva, cinematográfica, etc.) frente a la directa, lo que ha

incrementado la importancia que aquella posee en nuestra experiencia sensible y para la comprensión de los fenómenos que acontecen en nuestro entorno. De hecho, buena parte de las experiencias visuales que poseemos actualmente sobre el mundo que nos rodea han sido adquiridas mediante la contemplación de imágenes indirectas (Sanz 1996).

En el ámbito específico de la educación es posible apreciar un gradual aumento de los materiales gráficos incorporados en los distintos tipos de publicaciones. Igualmente se observa una progresiva sofisticación de las ilustraciones y gráficas científicas que a menudo les otorga una apariencia más atractiva, aunque no siempre más eficaz. Finalmente resulta cada vez más frecuente la utilización de medios electrónicos para la transmisión del conocimiento, pero de nuevo en muchos casos este proceso parece obedecer más a una intención comercial motivada por una sobredimensionada valoración de los productos tecnológicos que por la verdadera utilidad de dichos materiales frente a los tradicionales.

Un fenómeno preocupante de la utilización frecuentemente abusiva de la imagen en el acto comunicativo, es que esto está conduciendo a una progresiva pérdida de la capacidad de razonamiento abstracto asociada al lenguaje verbal en la población. Este hecho se ve agravado debido a que actualmente nuestra sociedad no se encuentra suficientemente capacitada para mantener una posición suficientemente crítica sobre el lenguaje visual y sobre cómo la información es mostrada en cada momento por dicho medio (Aparici y García 2008). No obstante, las nuevas generaciones, al haber estado inmersas en un ambiente de intensa comunicación audiovisual desde edades tempranas, muestran una sorprendente capacidad para manejar información gráfica. Este fenómeno está cobrando una gran importancia en el proceso de comunicación visual debido a que, por primera vez en la historia, los

individuos más jóvenes poseen una mayor competencia sobre el proceso comunicativo visual que aquellos que por su edad están en condiciones de actuar como transmisores del conocimiento (Mead 1997).

Esta situación puede llegar a ser preocupante ya que la información corre el peligro de no ser codificada gráficamente de forma adecuada para su correcta transmisión, dando lugar a errores interpretativos o a la pérdida de información.

Resulta por tanto imprescindible la adaptación de los ilustradores a los nuevos usos del lenguaje visual de cara a la adecuación de los contenidos gráficos a las características actuales de sus potenciales receptores (Müller-Brockmann 2005).

Con el fin de mejorar la competencia de los ilustradores científicos en la creación de gráficos eficaces para la transmisión de conocimientos, se ha desarrollado en las últimas décadas una nueva disciplina científica conocida como Visualización de la Información.

VISUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN

El término de visualización significa construcción de una imagen mental. No obstante hoy día su significado va más allá de la representación gráfica de conceptos, e involucra también a la toma de decisiones.

Una de las mayores ventajas de la visualización de datos es la gran cantidad de información que puede ser rápidamente interpretada si se presenta adecuadamente.

Algunos de los beneficios de la visualización de información son los siguientes:

- Permite comprender rápidamente cantidades enormes de datos.
- Hace posible la percepción de propiedades emergentes previamente invisibles.
- Permite reconocer la existencia de artefactos y errores en los datos.
- Favorece la comprensión de datos tanto a gran escala como a pequeña escala.
- Facilita la formación de hipótesis.

Las dos fuentes principales de las que se nutre la Visualización de la Información son la semiótica experimental, basada en la percepción visual y la semiología de la imagen, que estudia los símbolos y la forma en que transmiten su significado (Ware 2000). Ambas disciplinas serán abordadas más adelante (páginas 61 y 111 respectivamente).

1.2 CIENCIA Y COMUNICACIÓN VISUAL

En el ámbito científico, la comunicación visual ha adquirido un especial protagonismo en la transmisión del conocimiento. Así, por ejemplo, en los últimos años se ha producido un incremento notable de la cantidad de información gráfica incorporada en las publicaciones de índole científica y se ha producido una enorme cantidad de material en formato electrónico. Tanto las ilustraciones como las gráficas científicas ejercen un papel esencial en la comunicación científica, no como un mero accesorio del lenguaje verbal sino como una poderosa herramienta capaz de describir con gran eficacia fenómenos complejos, utilizando texto únicamente de forma complementaria.

1.2.1 LA COMUNICACIÓN CIENTÍFICA A TRAVÉS DE IMÁGENES

En el ámbito de la **comunicación científica a distancia**, la sustitución de los antiguos manuscritos por documentos impresos ejerció un papel fundamental para la difusión del saber. La posterior invención de los procesos de impresión fotomecánica y la actual introducción de dispositivos de impresión a partir de archivos informáticos han contribuido de forma importante a la globalización del conocimiento (Goody 1992; Goody y Watt 1996).

Los medios de difusión de imágenes dinámicas, como la televisión, el vídeo o el cine constituyen potentes herramientas para compartir conocimientos científicos, aunque su aprovechamiento aún resulta insuficiente. Actualmente, la posibilidad de transmisión de información en formato electrónico, ya sea mediante dispositivos de almacenamiento o mediante su publicación en línea a través de redes de informáticas de comunicación, principalmente de Internet, ha dinamizado de manera extraordinaria la transferencia del conocimiento científico. Hay que valorar especialmente la versatilidad que ofrecen los distintos formatos de archivo multimedia, entre cuyas características destaca la posibilidad de interacción de los usuarios con las imágenes o vídeos.

En cuanto a los procesos de **comunicación científica de persona a persona**, es decir, en la proximidad, estos tienen lugar especialmente en el ámbito educativo, el divulgativo y en el de la investigación científica (congresos, simposios, convenciones, etc.). En todos ellos ejerció tradicionalmente un papel destacado la pizarra y también la información gráfica aportada a través de láminas y maquetas tridimensionales. No obstante, el desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido dotar progresivamente a las aulas y salas de conferencias de diferentes dispositivos destinados a la proyección de imágenes en pantalla. Actualmente, los proyectores de vídeo, que permiten visualizar

en pantalla diferentes archivos multimedia mediante una conexión a un ordenador u otro dispositivo reproductor, han sustituido a los tradicionales proyectores de diapositivas, cinematográficos, de transparencias o de cuerpos opacos. Además de estos dispositivos, la reciente introducción en los centros docentes de pizarras electrónicas y proyectores interactivos puede suponer una revolución en la docencia, ya que constituyen una potente herramienta al servicio de nuevas estrategias didácticas participativas. Estos aparatos hacen posible, por ejemplo, la realización de múltiples actividades individuales o grupales, durante las cuales la información mostrada en la pantalla se va actualizando constantemente dependiendo de las acciones que los alumnos van ejecutando. El ordenador personal es otro elemento de extraordinario potencial actualmente incorporado en el ámbito de la comunicación del conocimiento científico. La dotación de ordenadores fijos y portátiles y de los recientes ordenadores de pantalla táctil ha ido creciendo progresivamente en los últimos años en la mayoría de los centros educativos. Por otra parte, la disponibilidad de conexión a Internet en las aulas y talleres es cada vez mayor, lo que ofrece la posibilidad de consultar en línea multitud de recursos de carácter gráfico. Finalmente, el desarrollo constante de aplicaciones educativas orientadas a dispositivos de bolsillo, tales como teléfonos móviles y consolas de videojuegos, así como la llegada reciente de los libros electrónicos abren nuevas posibilidades para la difusión del conocimiento por medio de material gráfico.

La constante evolución de los materiales y medios gráficos ha hecho que el término "Ilustración científica" resulte actualmente insuficiente para referirse a las múltiples posibilidades de comunicación visual de conocimientos científicos. Por este motivo, hoy en día es frecuente referirse a ésta como Comunicación Visual Científica (*Scientific Visual Communication*). No obstante, dada la implantación que tiene esta

denominación en nuestro país, en adelante me referiré a esta disciplina como Ilustración científica.

1.2.2 ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA

La Ilustración Científica (IC) realiza una función fundamental en el campo de la ciencia, complementando el trabajo de investigadores, docentes y diversos profesionales (Hall, Bailey y Tillman 1997).

Podemos considerar la Ilustración Científica como una disciplina que engloba un amplio abanico de técnicas de representación gráfica al servicio de la ciencia, incluyendo la ilustración tradicional, la fotografía, el vídeo, las nuevas tecnologías digitales, etc. (Tsafrir y Ohry 2001; Hodges 2003).

El "U.S. Department of Labor (Bureau of Labor Statistics)" describe las labores desempeñadas por cada profesional en su "Occupational Outlook Handbook". Respecto a los ilustradores médicos y científicos dice lo siguiente:

"Los ilustradores médicos y científicos combinan habilidades de dibujo con el conocimiento de la biología o de otras ciencias. Los ilustradores médicos dibujan ilustraciones de anatomía humana y de procedimientos quirúrgicos. Los ilustradores científicos dibujan ilustraciones de la vida animal y vegetal, estructuras atómicas y moleculares, y formaciones geológicas o planetarias. Las ilustraciones se utilizan en publicaciones médicas y científicas y en las presentaciones audio-visuales con fines educativos. Los ilustradores médicos también trabajan para los abogados y fiscales, produciendo imágenes que serán mostradas en procesos legales" (US Bureau of Labor Statistics).

La demanda de ilustraciones científicas ha aumentado de forma considerable en los últimos años. Actualmente, este tipo de ilustraciones aparece, entre otros

medios, en los libros especializados, revistas profesionales o divulgativas, películas o vídeos educativos, programas informáticos para el aprendizaje, presentaciones y carteles para congresos o reuniones científicas, folletos publicitarios o para la difusión de conocimiento y programas de televisión (The Association of Medical Illustrators). De este modo, la ilustración científica juega un importante papel, contribuyendo a acercar la ciencia al público general.

Desde los orígenes de la IC, se ha producido un desarrollo constante de las técnicas y soportes de los que se valían los ilustradores para representar las imágenes científicas, con el fin de adaptarse a las necesidades del mercado. Como resultado de esta transformación de los medios utilizados, se ha producido también un cambio en el concepto mismo de ilustración científica, de manera que, como ya se ha comentado anteriormente, en algunos países se ha optado por utilizar un término más amplio para denominar la profesión, que abarque tanto la ilustración tradicional, como la fotografía científica, el vídeo, la tecnología informática, y cualquier otro medio de difusión gráfica del conocimiento (Tsafrir y Ohry 2001). De esta manera, se han acuñado términos como *Biocommunication* o *Scientific Visual Communication*, que han tenido una buena acogida, sobre todo en Estados Unidos (Ansary y el Nahas 2000).

Pero la adopción de nuevas técnicas y medios de representación no ha sido el único cambio acontecido en la profesión en los últimos tiempos. Uno de los aspectos en los que se ha registrado una mayor evolución, ha sido el de la especialización en diferentes ramas o materias en relación con las correspondientes áreas científicas. De este modo, hoy día se puede hablar de una enorme cantidad de subespecialidades dentro de la IC, que abarca desde la Anatomía Patológica Humana, pasando por la Meteorología o la Entomología, hasta la Cartografía Arqueológica (ver tabla 1) (Guild of Natural Science Illustrators) (Medical Artist Association of Great Britain).

Subespecialidades de IC	
1. Anthropological	2. Invertebrates (general)
3. Archaeological	4. Mammals
5. Astronomy	6. Marine Life
7. Meteorology	8. Medical
9. Biological (general)	10. Dental
11. Botanical (general)	12. Histology
13. Cartography	14. Veterinary
15. Communication Graphics	16. Ornithology
17. Education	18. Paleontology
19. Embryology	20. Reptiles
21. Entomology	22. Amphibians
23. Geology	24. Vertebrates (general, including anatomy)
25. Ichthyology	26. Wildlife Art

Tabla 1: Subespecialidades de IC según la Liga de ilustradores de ciencias naturales

1.2.3 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DE LA IMAGEN CIENTÍFICA

La imagen científica posee una serie de particularidades que la diferencian claramente de otro tipo de representaciones gráficas:

PRAGMATISMO

La imagen científica es principalmente una herramienta para la transmisión del conocimiento de las diferentes materias que componen el saber científico. Por tanto, esa es su misión fundamental por encima de cualquier otra consideración estética. Estas imágenes se crean específicamente para su introducción en publicaciones de carácter científico, por lo que tienen un carácter eminentemente utilitario.

OBJETIVIDAD

Por encima de cualquier valoración subjetiva, el ilustrador debe dotar a la imagen científica de la objetividad necesaria para garantizar una transmisión eficaz de los conocimientos representados. Deberá, por tanto, evitar cualquier alusión a principios morales, ideológicos o de cualquier otra índole que no se correspondan con los objetivos de neutralidad e imparcialidad que siempre deben guiar el saber científico. En la imagen científica se evitan los recursos poéticos de significado incierto (aquellos que son más sugerentes que descriptivos) y se favorecen los signos reconocidos ampliamente por una gran parte de la población frente a otros que pudieran ser más expresivos pero que no tienen tanta difusión. Por otra parte, no es su misión seducir al lector, aunque pueda ser deseable generar en él un cierto interés por la materia tratada, por lo que la información será ofrecida con la máxima neutralidad. Existe, no obstante, un tipo de imagen pseudocientífica de carácter publicitario, orientado a la comercialización de productos relacionados con las ciencias de la vida, que sí puede emplear este tipo de lenguaje. Sin embargo, desde el momento en que

pierde su rigor y neutralidad, quedando exclusivamente al servicio de intereses comerciales, este tipo de imágenes puede dejar de considerarse científicas.

EXACTITUD

La precisión y el isomorfismo entre la estructura de las relaciones entre los componentes del referente y las expresadas mediante la imagen visualizada es una de las principales exigencias de la imagen científica. En el caso de ilustraciones esta exactitud sirve para reproducir, por ejemplo, un elemento o las relaciones entre las diferentes partes de un proceso con la mayor fidelidad. En el caso de fotografías científicas o imágenes obtenidas mediante diferentes aparatos de medición y análisis, la precisión es absolutamente imprescindible porque suelen ser utilizadas para medir diferentes magnitudes.

En general, las licencias artísticas en la imagen científica se restringen exclusivamente a aquellas estrategias que permiten expresar con mayor efectividad el concepto o los conceptos representados. A menudo, se orientan a simplificar o idealizar un proceso de cara a su mejor comprensión.

Resulta, por tanto, necesario que el ilustrador domine los recursos orientados a expresar los diferentes conceptos representados, con el fin de comunicar con la mayor exactitud y rigor científicos los conocimientos que deben ser explicados en cada momento.

Pese a todo, el rigor científico suele ser menor en las imágenes de carácter editorial (por ejemplo las que introducen un capítulo o las que aparecen en la portada de una publicación), las cuales, con frecuencia se basan en composiciones fantásticas y en las que la libertad compositiva suele ser mayor. En menor medida, la imagen divulgativa, sobre todo orientada a niños o a jóvenes también suele mostrar una cierta

relajación en el rigor exigido a las imágenes que aparecen en tratados o revistas científicas.

SIGNIFICACIÓN UNÍVOCA

Las imágenes científicas deben representar únicamente lo que se pretende transmitir y no dar lugar a ambigüedades ni a significados no deseados. En este sentido se distancia claramente del lenguaje polisémico, pues a diferencia de éste, el científico tiene un carácter cerrado y monosémico.

COHERENCIA

En primer lugar, es preciso que la ilustración científica guarde una coherencia interna. Esto quiere decir que una imagen científica no debe mostrar contradicciones en la forma de presentar la información en una misma imagen, es decir no debe utilizar diferentes recursos gráficos en ella para representar un mismo concepto.

Por otra parte, es necesario respetar una coherencia entre figuras, de modo que en todas ellas se siga el mismo sistema de representación para la expresión de una idea determinada.

NORMALIZACIÓN Y CONVENCIONALISMO

La introducción de normas de representación, así como de sistemas de símbolos consensuados, lo que se suele denominar leyenda en cartografía, es otro de los factores que ha contribuido a asegurar la correcta interpretación de los conceptos descritos por las ilustraciones y gráficas científicas. En este sentido, los ilustradores han sabido tomar de otras disciplinas, y especialmente del dibujo técnico, todos aquellos elementos que podían ayudarles a dotar de un mayor rigor y exactitud a sus esquemas. De este modo, es frecuente la incorporación de recursos de acotación y de

representación de ejes de rotación o secciones, por poner algún ejemplo, en los dibujos científicos.

CARÁCTER DIDÁCTICO

Tanto en el ámbito educativo como en el divulgativo o en el clínico, la imagen científica tiene principalmente una finalidad didáctica. Es decir, tiene como misión explicar detalles relativos a fenómenos o procesos con el fin de que sean comprendidos y aprendidos por los usuarios.

Por otra parte, se puede considerar que tanto las imágenes utilizadas en el ámbito de la investigación científica como las ilustraciones jurídico-legales también tienen generalmente una finalidad didáctica. En el primer caso se usan para mostrar aspectos relacionados con fenómenos científicos novedosos y en el segundo caso se emplean para aleccionar a los miembros del tribunal de justicia sobre materias en las que son legos y para demostrar los mecanismos involucrados en un determinado suceso y permitir que estos puedan valorar con rapidez los hechos juzgados.

ESQUEMATISMO (SIMPLICIDAD, SENCILLEZ Y ECONOMÍA DE MEDIOS)

Otro aspecto fundamental de la imagen científica es su capacidad para simplificar el problema expuesto y aislarlo de otras características estructurales o fenómenos concomitantes que pudieran actuar como factores de confusión y distraer la atención del lector. Desde la idealización de un espécimen de cara a la representación de los rasgos característicos de una especie, hasta la abstracción geométrica mostrada en algunos diagramas y gráficas científicas, la esquematización juega un papel fundamental en la reducción de la complejidad de los conocimientos científicos de cara a su transmisión eficaz.

Además, en cuanto a los recursos técnicos empleados hay que destacar este mismo principio de economía, puesto que en aquellos casos en los que la riqueza plástica del medio empleado pudiera distraer acerca del concepto representado, siempre será sacrificado el primero en favor del segundo. Es, por ejemplo, frecuente la renuncia al color, la textura o la exactitud en la figura en determinadas representaciones esquemáticas. También puede prescindirse de la reproducción del ambiente que rodea a un elemento o reducir su complejidad a unas pocas líneas o planos de color.

FOCALIZACIÓN

En relación con lo anterior, una de las principales ventajas de la ilustración sobre la fotografía es su mayor capacidad de focalización de la atención hacia un determinado elemento o grupo de elementos de la realidad representada. Existen numerosos recursos para ello, tales como desenfocar, atenuar el color o disminuir drásticamente el detalle en aquellas zonas que poseen un menor interés, enmarcar o situar en el centro geométrico de la composición el área principal, etc. Aunque algunos de estos recursos también pueden ser utilizados en la fotografía, sobre todo a partir de la evolución de los programas informáticos de edición de imágenes digitales, actualmente sigue resultando más sencillo utilizar estos recursos en una ilustración.

MÚLTIPLES TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN PLÁSTICA

Prácticamente cualquier medio artístico para crear representaciones bidimensionales puede ser utilizado para elaborar ilustraciones científicas. Principalmente los ilustradores científicos recurren a las técnicas tradicionales de ilustración, la fotografía, la imagen informática o la obtenida mediante aparatos de análisis o diagnóstico por imagen. En este sentido, el ilustrador debe siempre estar

atento a los nuevos materiales y técnicas de dibujo y pintura para incorporar a su repertorio todos aquellos que permitan la reproducción gráfica más adecuada para los conceptos tratados.

RELATIVO INTERÉS ESTÉTICO

Pese al carácter esencialmente funcional de las imágenes científicas, algunos ilustradores y fotógrafos científicos han sabido crear imágenes de gran belleza estética, por las que han sido reconocidos en el ámbito de la ciencia e incluso por la sociedad en general. Sirvan los ejemplos clásicos de las ilustraciones de aves de John James Audubon o los dibujos de medicina y cirugía de Frank Netter. Además, en los últimos años se han hecho frecuentes las exposiciones en museos y galerías de arte de imágenes científicas, e incluso numerosos artistas han incorporado a sus obras directamente fotografías e ilustraciones científicas o han utilizado técnicas o dispositivos de registro de imágenes científicas para realizar su trabajo.

1.2.4 FUNCIONES DE LAS ILUSTRACIONES CIENTÍFICAS

Según Levin, las funciones que una imagen puede tener en relación con el procesamiento del texto son cinco: decorativa, representativa, organizativa, interpretativa y una menos convencional, transformadora (Levin 1981).

Las **imágenes decorativas** no tienen relación con el contenido del texto. Por el contrario, las **imágenes con función de representación** describen una parte del contenido del texto y son con diferencia el tipo más común de ilustración. Las **imágenes organizativas** proporcionan un marco de trabajo o esquema que resulta útil para entender el contenido del texto. Por ejemplo, una ilustración mostrando los pasos a seguir en una resucitación cardiopulmonar.

Las **imágenes interpretativas** ayudan a clarificar contenidos del texto que tienen una elevada dificultad de comprensión, por ejemplo la representación de la presión sanguínea según un sistema de bombas.

Finalmente, las **imágenes transformadoras** incluyen componentes mnemotécnicos cuyo objetivo es que el lector tenga un mayor recuerdo del contenido del texto (Carney y Levin 2002).

Los estudios empíricos que analizan el efecto sobre el aprendizaje de estos cuatro tipos de imágenes, indican que las puramente decorativas no proporcionan ningún efecto facilitador, mientras que las representativas aportan un beneficio moderado, las organizativas e interpretativas un beneficio de moderado a sustancial, y por último, las imágenes transformacionales dan lugar a un beneficio sustancial en el aprendizaje (Levin 1981).

Levin y Mayer proponen varios principios para explicar porqué las imágenes consiguen este efecto facilitador del aprendizaje del texto. En primer lugar sugieren que las imágenes focalizan y dirigen la atención del lector hacia los contenidos más relevantes. Además, pueden hacer que el texto sea más conciso (una imagen vale más que mil palabras), más concreto (función representativa), más coherente (función organizativa), más comprensible (función interpretativa) y más codificable (función de transformación mnemotécnica) (Levin y Mayer 1993).

Peeck realizó una revisión en la que enumera una serie de razones por las cuales las imágenes deberían facilitar el aprendizaje, entre las que se incluyen el aumento de motivación, la focalización de la atención, la profundidad de procesamiento, la clarificación del contenido del texto y la de proporcionar modelos mentales. Según Peeck, la imagen cumple una importante función al visualizar la

información y rebajar el esfuerzo provocado por la memorización de información abstracta. Este autor enfatiza la importancia de las características del lector, tales como su edad, su capacidad lectora, así como su capacidad de interpretar imágenes (Peeck 1993).

Mary Helen Briscoe ha enumerado recientemente las funciones que específicamente tiene la imagen científica y que serían las siguientes:

- Describir fenómenos complejos que no pueden ser explicados únicamente mediante lenguaje verbal o cuya explicación requeriría un texto demasiado extenso.
- Documentar con verosimilitud determinados hechos científicos (fundamentalmente fotografías y otras imágenes obtenidas mediante dispositivos de registro).
- Facilitar el análisis de un fenómeno (sobre todo gráficas, tablas y diagramas).
- Simplificar y aclarar información.
- Resumir información.
- Enfatizar información.
- Recapitular acerca de los conocimientos de interés para el estudio de un fenómeno concreto (Briscoe 1996).

1.2.5 TIPOS DE ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA

Es posible establecer distintos tipos de imagen científica en virtud de la técnica de representación empleada. Los principales grupos considerados son: ilustración tradicional, fotografía, vídeo, ilustración digital, imágenes obtenidas con aparatos de análisis o diagnóstico, diagramas y gráficas científicas.

La actual concepción integral de la profesión, ya sea bajo el nuevo título de Comunicación visual o el tradicional de Ilustración Científica, permite aunar todas las ventajas de las diferentes disciplinas de imagen científica con una finalidad: la comunicación del conocimiento científico. Cada una de las modalidades posee una serie de ventajas e inconvenientes respecto a las demás, por lo que casi constantemente se utilizan de forma conjunta unas y otras, de manera que se complementen. A continuación se comentan algunos de los aspectos más destacados respecto a cada una de ellas.

LA ILUSTRACIÓN TRADICIONAL

La ilustración tradicional comprende un amplio abanico de técnicas de representación utilizadas habitualmente en el ámbito científico.

La importancia actual de la ilustración tradicional en el campo de la ciencia se debe a su capacidad de ofrecer esquemas claros de las estructuras orgánicas y bioquímicas, permitiendo distinguir sus elementos de una forma más sintética que la fotografía convencional o microscópica. Por otro lado, en el caso de disecciones o intervenciones quirúrgicas, ofrecen una imagen menos agresiva que la que muchas veces se obtiene de una fotografía del natural y permite en todo momento conservar el anonimato del individuo representado en el caso de la ilustración médica. Otras situaciones donde la ilustración tradicional es preferible a la fotografía serían, por

ejemplo, aquellas en las que se requiere resaltar estructuras de pequeño tamaño relativo pero de elevada importancia funcional. De igual manera se puede situar a un espécimen en una actitud prototípica para mostrar sus características más interesantes para su comparación con otros individuos o especies. Al mismo tiempo se pueden evitar alteraciones del color debidas a las características especiales de la luz que incide sobre el motivo (Figura 1).



Figura 1: Comparación entre fotografía e ilustración para describir morfológicamente especies animales. La ilustración muestra su gran capacidad de aislamiento y eliminación de factores distractores, así como una mejor diferenciación de los rasgos característicos, así como su idealización para evitar rasgos propios de un individuo concreto.

También se beneficia del uso de la ilustración tradicional la representación de estructuras superpuestas por medio de simulación de transparencias. Por último, la ilustración resuelve eficazmente la representación de secciones de especímenes para mostrar el funcionamiento interno de sus órganos o la introducción en sus cavidades de diferentes instrumentos de diagnóstico o de tratamiento (Figura 2).



Figura 2: Representación de estructuras superpuestas.

Con la llegada de nuevas técnicas de diagnóstico y análisis por imagen, como la tomografía axial computarizada o la resonancia magnético nuclear en medicina o la utilización de microscopios electrónicos de barrido en ciencias biológicas, por poner dos ejemplos, surgen nuevas ilustraciones que tratan de representar imágenes obtenidas por estos métodos, que aportan una visión simplificada y más asimilable con fines docentes (Figura 3).

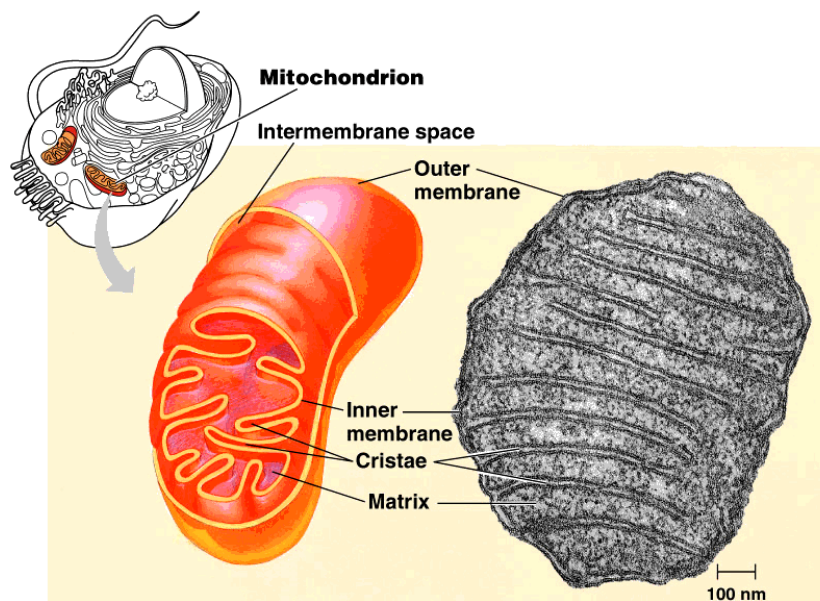


Figura 3: Asociación de ilustración e imagen de microscopía electrónica

Otro método frecuente de ayudar a comprender la imagen fotográfica desde su introducción en los tratados científicos ha sido la de introducir flechas, líneas de separación, coloreado de diferentes áreas, y diversas estrategias gráficas para resaltar, señalar o diferenciar estructuras. De esta manera, ha sido posible aunar en muchos casos los beneficios aportados por ambos tipos de imágenes (fotografía e ilustración) (Figura 4).

Uno de los campos donde la ilustración científica está teniendo mayor demanda en la actualidad es en el terreno de la divulgación. La sociedad está cada vez mejor informada en su conjunto y tiene una mayor necesidad de documentarse acerca de los asuntos científicos que pueden interesarle. Esto hace necesario la elaboración de ilustraciones comprensibles por el público general, de carácter más intuitivo y menos complejas que las empleadas en los tratados científicos.



Figura 4: ilustración como complemento de la fotografía

Un ejemplo clásico de la necesidad es la utilización de mapas simplificados de información meteorológica en los informativos televisivos o la reciente introducción en las consultas médicas de material gráfico orientado a pacientes para que comprendan mejor los procesos patológicos y la forma de evitarlos o curarlos.

LA FOTOGRAFÍA CIENTÍFICA

Casi desde sus orígenes ha sido utilizada como herramienta documental al servicio de la investigación científica (Ollerenshaw 2000). Los continuos avances tecnológicos han posibilitado la aparición de numerosas técnicas fotográficas con aplicación en la práctica clínica e investigadora (Tubergen y Manegold 1993).

Existen diversas situaciones en las que una fotografía puede ser preferida a una ilustración como sucede cuando se desea representar una escena muy compleja (p.ej. imágenes microscópicas de estructuras biológicas). También resulta de elección la fotografía respecto a la ilustración tradicional para la obtención de múltiples tomas de especímenes desde diferentes ángulos o cuando se requiere capturar secuencias de movimiento, como sucede, por ejemplo, en las pruebas diagnósticas dinámicas, en la documentación del comportamiento de especies animales o en la toma de imágenes meteorológicas por satélite. Por último, la fotografía resulta de elección cuando se quiere aprovechar el impacto emocional de la imagen real, como sucede en las fotografías de denuncia ecológica o en las que se utilizan en las campañas de salud, donde, por ejemplo, se muestran imágenes reales de órganos dañados por el tabaco.

Actualmente la fotografía resulta indispensable en multitud de protocolos diagnósticos y de seguimiento clínico empleados en medicina o veterinaria. Así, se utiliza profusamente con el fin conservar imágenes obtenidas en determinadas exploraciones endoscópicas, oftalmoscópicas, otoscópicas, fibroscópicas, laringoscópicas, etc. Técnicas relativamente recientes, como la termografía por infrarrojos, la fotografía de lesiones cutáneas con luz de Wood (que emite radiaciones ultravioletas) o el registro de la fluorescencia emitida por los vasos de la retina tras la inyección de contraste, conocida como angiofluoresceingrafía, han facilitado la detección y seguimiento de diferentes procesos patológicos. En cuanto a la fotografía microscópica, ha permitido documentar de forma fiel y detallada los hallazgos que se han ido logrando en investigación histológica y celular, así como en microbiología. Los microscopios electrónicos y las modernas técnicas de inmunofluorescencia, han ampliado en gran medida las posibilidades en este campo (Ray 1999).

Por otro lado, la fotografía puede considerarse como una herramienta docente insustituible para determinadas especialidades clínicas cuyos métodos de diagnóstico se apoyan en la toma de imágenes, como ocurre con la dermatología, oftalmología, otorrinolaringología, gastroenterología, cirugía general, cirugía plástica, medicina legal, etc., donde es imprescindible obtener una representación fiel de las lesiones objeto de estudio.

En cuanto a las aplicaciones de la fotografía en biología, hay que destacar su enorme utilidad como herramienta documental, debido a su inmediatez de reproducción y a su capacidad de definición. En el campo de la botánica, se ha venido empleando, por ejemplo, para el registro de especies y la elaboración de herbarios fotográficos. También se ha utilizado profusamente en zoología para el estudio de la fauna, tanto en el medio terrestre como en el acuático, a lo que hay que sumar la obtención de imágenes de organismos microscópicos.

En astronomía su empleo es constante y permite registrar los fenómenos captados desde los modernos observatorios y naves espaciales. Recientemente, el empleo de sondas y telescopios espaciales está facilitando la obtención a distancia de fotografías que posteriormente son transmitidas a la tierra para su estudio.

En definitiva, la combinación de potentes telescopios o microscopios, junto con dispositivos de registro de imagen, ya sean digitales o fotoquímicos, así como de diferentes filtros y fuentes lumínicas, ha permitido en los últimos tiempos obtener representaciones macroscópicas o microscópicas que antes permanecían fuera de nuestro alcance.

Por otro lado, conforme los avances tecnológicos en fotografía se han ido sucediendo, los conocimientos de los ilustradores científicos han tenido también que incrementarse para adaptarse a los mismos. En el caso de la fotografía, la reciente

expansión de la fotografía digital ha producido importantes avances que no siempre se han visto reflejados en el resultado final. Una de las razones para ello es que la facilidad para producir imágenes “correctas” ha animado a muchos fotógrafos aficionados a introducirse en el mundo de la fotografía científica sin disponer de los conocimientos necesarios para lograr imágenes de cierto nivel, contribuyendo de esta manera a disminuir la calidad media de las fotografías científicas (Brown 2003).

EL VÍDEO CIENTÍFICO

La incorporación de movimiento a la imagen ha permitido registrar y analizar fenómenos que antes debían ser contemplados de forma estática, inicialmente gracias a la retentiva de los ilustradores tradicionales y posteriormente mediante la fotografía. Más allá de los avances logrados por la fotografía secuencial respecto al análisis del movimiento, las actuales imágenes de video permiten recoger el desplazamiento de sujetos y objetos de una forma natural y documentar largas secuencias de diferentes procedimientos o fenómenos científicos. La posibilidad de editar la imagen una vez registrada, permite modificar la velocidad de reproducción, seleccionar las escenas, alterar el orden de secuencias, introducir sonido con música o explicaciones, añadir texto sobrescrito o multitud de efectos especiales, entre otras opciones.

El vídeo científico permite obtener imágenes dinámicas que posibilitan, por ejemplo, analizar el vuelo de un ave, documentar una intervención quirúrgica endoscópica, filmar los hallazgos de un yacimiento arqueológico o transmitir a millones de kilómetros de distancia las imágenes del planeta Marte. Gracias a los modernos métodos de exploración mediante microcámaras, sondas o cámara teledirigidas, se han conseguido obtener imágenes de procedimientos y fenómenos como los descritos y se abre un campo muy extenso de actuación para los profesionales de la biocomunicación.

En algunos casos, también se están recurriendo a métodos de filmación para la visualización de imágenes tridimensionales, lo que ya está abriendo nuevas posibilidades de representación, tanto orientadas a la realidad virtual como a la realidad aumentada.

Por otra parte, las actuales técnicas de animación permiten obtener ilustraciones esquemáticas o realistas en movimiento con las que se pueden crear imágenes de alto impacto visual acompañadas de sonido.

LA ILUSTRACIÓN DIGITAL

La ilustración digital es aquella en cuyo proceso de elaboración ha tenido un peso determinante el uso de programas informáticos de ilustración. Pese a ser también imágenes digitales, no se consideraría dentro de este grupo a la fotografía digital ni tampoco a las creadas con aparatos de análisis o diagnóstico por imagen.

La creación de programas informáticos de ilustración, tanto en dos como en tres dimensiones han permitido la elaboración de imágenes complejas con relativa facilidad. Los programas de ilustración 2D pueden estar orientados a la elaboración de imágenes rasterizadas, o a la de imágenes vectoriales. En las imágenes rasterizadas (también denominadas imágenes de mapa de bits), cada pixel está definido por su posición en la imagen y por los valores tonales y cromáticos que posee. Por su parte, las imágenes vectoriales están formadas por elementos geométricos tales como segmentos, arcos, polígonos, etc., que son determinados mediante fórmulas matemáticas y otros atributos como el color, grosor de línea, etc. Los programas de diseño 3D permiten crear imágenes tridimensionales de alta complejidad que luego pueden ser rasterizadas para dar lugar a imágenes matriciales o de mapa de bits. Finalmente, existen programas informáticos que permiten reconstruir gráficamente

modelos teóricos de estructuras, tales como moléculas complejas, a partir de una serie de parámetros introducidos (Hodges 2003).

Debido a su innegable utilidad didáctica las ilustraciones digitales han incrementado constantemente sus aplicaciones (Dugid 2004). Así, por ejemplo, las presentaciones multimedia, incluyendo fotografías, gráficos o vídeos, han sustituido en gran medida a las diapositivas antiguamente utilizadas en los congresos científicos (Morton, Nicholls y Williams 2000). Igualmente en la docencia se vienen empleando estos métodos cada vez con más asiduidad. La llegada de Internet y la evolución de la informática ha tenido como consecuencia la virtualización de buena parte de los contenidos que anteriormente quedaban reservados para los libros o revistas en papel, siendo hoy en día posible acceder a gran cantidad de recursos didácticos, ya sea a través de la red o mediante CD-ROM o DVD, en los que la interactividad y la combinación de texto, imagen y sonido, facilita en gran medida el aprendizaje. En este sentido, la IC se nutre de diversas disciplinas como la producción de efectos especiales y técnicas de representación tridimensional empleados en el cine o en el diseño de videojuegos, o la interactividad tan importante en el desarrollo de programas y herramientas informáticos. Por este motivo, los ilustradores científicos han tenido que ir adaptándose a las nuevas tecnologías digitales y convertirse en expertos en el manejo de programas informáticos de ilustración, edición de imágenes y animación por ordenador, entre otros (De la Flor 2004).

Pese a que los programas utilizados para obtener simulaciones tridimensionales en pantalla cada vez son más versátiles y sencillos de manejar, para obtener buenos resultados mediante su uso es preciso dominar también las técnicas manuales de representación tridimensional mediante rectas y planos. Aunando ambos conocimientos informáticos y plásticos, se pueden llegar a obtener resultados

ciertamente espectaculares (Isenberg, Halper y Strothotte 2002; Sousa y Prusinkiewicz 2003).

No obstante, el enorme potencial que suponen las nuevas tecnologías informáticas en cuanto a la generación de imágenes debe ser manejado con cuidado y siempre bajo el máximo rigor científico. Una imagen manipulada mediante ordenador puede tener un aspecto muy real y, sin embargo, ser científicamente incorrecta. Algunos autores están llamando la atención acerca del peligro que se corre con la creación de imágenes donde la espectacularidad puede ganar protagonismo a la precisión (Ottino 2003). Sin embargo, otros especialistas distinguen en este sentido entre las imágenes incluidas junto al trabajo de investigación, que siempre deben guardar el máximo rigor y las imágenes situadas, por ejemplo, en una portada de un libro o revista, cuyo objetivo es atraer la atención sobre su contenido (Ippolito 2003).

IMÁGENES OBTENIDAS CON APARATOS DE ANÁLISIS O DIAGNÓSTICO

Se incluyen dentro de este grupo todas las imágenes creadas mediante dispositivos de análisis y diagnóstico capaces de elaborar registros gráficos de estructuras minerales y orgánicas. Algunos ejemplos conocidos son las imágenes radiológicas, la microscopía electrónica, la fotografía infrarroja, las termografías, las imágenes de radar o sonar, etc. Pese a que algunas de ellas utilizan como método último para capturar la imagen material fotosensible, el mecanismo de análisis por imagen no está basado en el registro de luz visible. Así, por ejemplo, las ecografías tradicionalmente capturaban la imagen en papel fotográfico (actualmente lo hacen por impresión digital), pero el mecanismo para formar dicha imagen está basado en el registro de ultrasonidos.

Conforme la tecnología ha hecho posible la captura de imágenes que revelaban estructuras inasequibles al ojo humano, éstas se han ido incorporando

paulatinamente a los textos científicos hasta suponer hoy día un importante porcentaje de las ilustraciones publicadas. Éstas han contribuido de forma decisiva a construir la idea que poseemos de dichas estructuras y en muchos casos han inspirado posteriormente dibujos basados en ellas.

Aunque hasta hace poco, la mayor parte de estas tecnologías sólo permitían el registro de imágenes 2D, las nuevas técnicas de representación tridimensional de estructuras orgánicas han contribuido a su mejor comprensión y ha facilitado, por ejemplo, el desarrollo de estrategias diagnósticas y terapéuticas en medicina, tales como las operaciones quirúrgicas de separación de hermanos siameses, en las que el conocimiento detallado de la disposición espacial de sus estructuras vitales es de suma importancia. Estas técnicas también resultan de gran utilidad, por ejemplo, en el diseño de prótesis, en los estudios de aerodinámica e hidrodinámica, así como en estudios paleontológicos o de medicina legal.

LOS DIAGRAMAS CIENTÍFICOS

Este tipo de imagen científica es de gran utilidad para la transmisión de conocimientos científicos puesto que al contribuir notablemente a su organización, facilita su asimilación y contribuye a incrementar su recuerdo posterior. Tradicionalmente estos diagramas eran trazados con técnicas manuales, lo que hacía más compleja tanto su creación como la edición posterior. Actualmente existe un gran número de programas informáticos especializados que facilitan su elaboración y permiten la aplicación de estilos personalizados a cualquiera de sus elementos, como por ejemplo, cuadros de texto, conectores, imágenes etc.

Los diagramas son gráficos cuya estructura está basada tanto en fenómenos de la percepción como en convencionalismos. Por una parte, incorporan una serie de

códigos arbitrarios que requieren aprendizaje pero que posteriormente son rápidamente interpretados. Por otro lado, también contienen información codificada de acuerdo con determinadas leyes de la percepción, como las que fueron descritas por la Gestalt. Uno de los tipos empleados con mayor frecuencia es el conocido como "Diagrama de nodos y enlaces" o "Diagrama de nodos". Existe una enorme variedad de modelos basados en él, aunque todos ellos están constituidos por nodos que representan diferentes entidades y enlaces que representan las relaciones entre dichas entidades. Los nodos generalmente poseen forma geométrica (rectángulos, óvalos, rombos, etc.) y las conexiones pueden ser las líneas rectas, quebradas, curvas, o puede ser flechas de distinta morfología (Ware 2000).

LAS GRÁFICAS CIENTÍFICAS

Las gráficas son esquemas gráficos que representan la relación entre diferentes variables, de las cuales, al menos una es continua. Se denomina variable continua a aquella que puede tomar cualquiera de los infinitos valores existentes dentro de un intervalo. Ejemplos de variables continuas son la talla corporal, la presión arterial, la densidad ósea, etc. Las variables cualitativas o categóricas hacen referencia a una cualidad, atributo o modalidad. Ejemplos de variables cualitativas son los colores, las ubicaciones topográficas o las diferentes etapas de una enfermedad.

En las gráficas, la secuencia de los elementos presentados resulta fundamental para comprender la información que proporcionan. Las variables cuantitativas presentan un orden secuencial por definición, pero las variables cualitativas pueden ser ordenadas en muchos casos de forma indistinta, por lo que es importante la decisión de cómo se organizan. En algunos casos, el orden viene determinado porque la variable cualitativa es de tipo ordinal y presenta un orden preferente de presentación (por ejemplo, los meses del año suelen disponerse en una gráfica ordenados de enero

a diciembre). No obstante, en otros casos, la variable cualitativa es nominal (por ejemplo, los nombres de distintas áreas geográficas) y en ese caso caben más posibilidades de ordenación (Winn 1987).

La reorganización de los datos representados es un aspecto fundamental para la rápida comprensión de la información contenida en una gráfica. Con esta finalidad, resulta necesario simplificar los datos sin eliminar información, recurriendo a su reagrupamiento lógico. Este es el proceso más crítico en la construcción de una gráfica, por encima incluso de ciertas cuestiones relacionadas con la presentación formal de los datos (Bertin 1967; Bonin 1975).

Otra cuestión de gran importancia en una gráfica es el aspecto o la forma que esta toma para unas determinadas variables, pues es posible deducir por él el tipo de relación que existe entre ellas, así como la tendencia o posible evolución de las mismas. Este aspecto está determinado por una convención conocida por todos aquellos que manejan gráficas, la cual consiste en que los elementos situados más arriba tienen mayor valor y también los que están situados más a la derecha, puesto que ésta es la disposición habitual de valores en los ejes x e y.

Además, diversos autores han indicado que los diferentes tipos de gráficos sirven para mostrar distintos tipos de relación entre variables. De este modo, los diagramas de línea sirven para deducir la tendencia entre dos variables y para relacionar valores concretos de una con valores concretos de otra. Sin embargo, los diagramas de barras y los de sectores al menos incluyen una variable cualitativa y suelen emplearse para encontrar discrepancias entre las diferentes categorías (Bertin 1967) (Wainer y Thissen 1981) (Schriger y Cooper).

2 TEORÍA DE LA IMAGEN COMO BASE PARA EL ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS

Los dos principales enfoques teóricos sobre la imagen están representados por la semiótica experimental y la semiología de la imagen. La primera se ha basado en la realización de estudios científicos sobre aspectos concretos de la percepción visual, involucrando áreas como la óptica, psicofísica o la neurofisiología. La segunda ha sido desarrollada, entre otros, por filósofos, sociólogos y antropólogos, y con frecuencia sus argumentos se han basado en el análisis de ejemplos más que en el estudio experimental. No obstante, ambas se pueden considerar disciplinas complementarias, ya que la semiótica experimental se ha centrado en los fenómenos fisiológicos que tienen lugar durante la percepción y en el procesamiento cognitivo del estímulo, mientras que la semiología de la imagen ha propuesto diversas teorías para explicar el modo en que utilizamos e interpretamos los sistemas de signos.

2.1 TEORÍAS EN RELACIÓN CON LA PERCEPCIÓN VISUAL

Comprender el funcionamiento de nuestro sistema perceptivo visual puede ser de gran ayuda para entender los mecanismos implicados en la representación de conceptos mediante combinaciones de recursos gráficos. Esto se debe, por una parte, a que dichos recursos gráficos forman parte de una representación, que como objeto visible involucra mecanismos fisiológicos o psicológicos similares a los que participan en la visión directa del objeto representado. Por otra parte, los recursos gráficos a menudo imitan alguna particularidad concreta de las sensaciones percibidas durante la visualización de la realidad. De esta forma, se puede por ejemplo sugerir el movimiento de un objeto únicamente mediante la duplicación de su línea de contorno

en algunas zonas, basándose en la percepción de un cuerpo que vibra a gran velocidad. Por este motivo, resulta prioritario analizar detenidamente los principios fisiológicos, así como los mecanismos psicológicos involucrados en la interpretación de las imágenes procedentes del mundo exterior, con el fin de poder elaborar ilustraciones que representen de forma efectiva los conceptos que en cada caso se precisen. Además, el diseño de imágenes basado en estos principios permitiría alcanzar un mayor grado de universalidad de significado puesto que permitiría dejar a un lado convencionalismos arbitrarios de más reducido alcance (Ware 2000).

El estudio de la percepción visual puede abordarse por tanto desde un punto de vista fisiológico o desde un punto de vista psicofísico. Los estudios fisiológicos emplean diversas técnicas orientadas a conocer la relación entre la estimulación visual y la actividad neuronal. Una de las primeras técnicas empleadas consistió en estudiar los efectos que tenían lesiones neuronales conocidas (o provocadas en animales) sobre la percepción, aunque este método presentaba claras limitaciones. Afortunadamente en la actualidad contamos con sofisticadas técnicas diagnósticas que proporcionan imágenes precisas de la actividad neuronal. Éstas miden las modificaciones del flujo sanguíneo en las diferentes áreas cerebrales tras la presentación de un estímulo visual. Se ha demostrado que el flujo sanguíneo aumenta en las zonas de mayor actividad, por lo que se pueden conocer cuáles son las áreas involucradas en los procesos de percepción visual. Las dos técnicas más empleadas son la Tomografía por emisión de positrones (PET), que requiere la inyección de un contraste radiactivo y la Resonancia Magnética Nuclear Funcional (fMRI), basada en la creación de campos electromagnéticos que afectan a cada sustancia de una forma diferente. Mediante estos métodos se están realizando importantes hallazgos de la

fisiología de la visión en los que en parte se basan algunas de las teorías sobre la interpretación de imágenes (Goldstein 2006).

La otra vía de conocimiento de nuestro sistema perceptivo visual es la Psicofísica, que estudia la relación entre la presentación de un determinado estímulo sensorial y la respuesta del individuo a éste. Dentro de la psicofísica pueden considerarse distintos niveles de estudio, desde los elementos básicos que podemos encontrar en una imagen (color, textura, líneas, etc.), hasta las formas más complejas de combinación de los mismos (Bruce y Green 1994).

Antes de abordar las diferentes teorías existentes acerca de la percepción visual, es conveniente realizar una somera revisión de la estructura y funcionamiento básicos del sistema visual, ya que en ellas frecuentemente se hace referencia a alguno de estos aspectos.

2.1.1 EL SISTEMA VISUAL

El sistema visual permite que la luz reflejada por la escena contemplada sea enfocada en la retina gracias a un conjunto de lentes situadas en el ojo. Posteriormente el estímulo luminoso será transformado en energía bioeléctrica que viajará por la vía óptica hacia la corteza cerebral para su procesamiento.

Los tres componentes principales del sistema visual son el ojo, el *núcleo geniculado lateral* (situado en el *tálamo*) y el área receptora visual (localizada en el *lóbulo occipital* de la corteza cerebral) (Guyton y Hall 2006).

Cuando la luz reflejada por un objeto llega hasta nuestros ojos es enfocada por la cornea y el cristalino para crear una imagen del mismo en la retina. La córnea, que es la parte anterior del ojo, aporta la mayor parte de la potencia de enfoque del ojo,

mientras que el cristalino permite ver nítido a diferentes distancias. Así, para enfocar un objeto cercano, tiene lugar un proceso llamado acomodación, mediante el cual aumenta la curvatura del cristalino, incrementando de esta manera la potencia del ojo.

Una vez que la imagen se enfoca en la retina, tiene lugar la siguiente fase del procesamiento visual que consiste en la estimulación de las células *fotorreceptoras*, que contienen pigmentos visuales sensibles a la luz.

Existen dos tipos de células fotorreceptoras: los conos, que responden ante altos niveles de luz ambiental y están especializados en la discriminación de los colores, y los bastones, responsables de la visión con baja intensidad luminosa e incapaces de captar diferencias cromáticas. La mayor densidad de conos, y por tanto la máxima agudeza visual, se encuentra en una pequeña área de la retina denominada fovea y decrece según nos alejamos hacia la zona periférica. Los bastones, sin embargo, están prácticamente ausentes en la fovea; alcanzan un máximo en la zona media de la retina y después disminuyen otra vez en la zona más periférica. Debido a la mayor capacidad de visión de la fovea, cuando queremos mirar directamente a un objeto, los músculos oculares mueven nuestros ojos para que la imagen del mismo se proyecte sobre dicha área (Adler, Moses y Hart 1994).

Los fotorreceptores captan la energía luminosa y la traducen a señales bioeléctricas que se transmiten a las neuronas bipolares y de éstas a las neuronas ganglionares. El conjunto de axones de todas las neuronas ganglionares de la retina forman el nervio óptico (Nicholls y Martin 2001) (Figura 5).

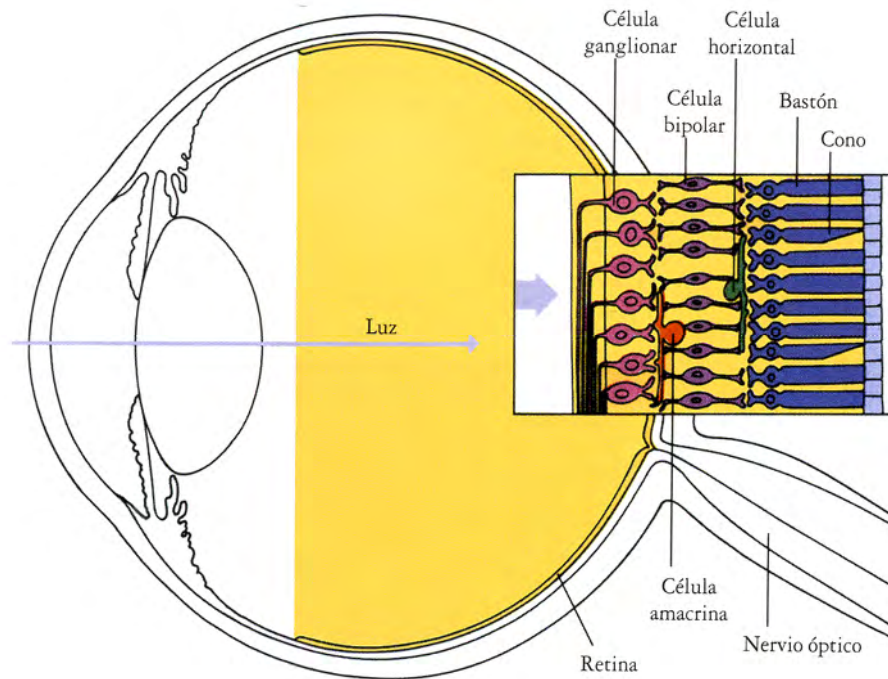


Figura 5: Células de la retina (Hubel, D.H. 1999)

Excepto la fovea, el resto de la retina presenta una gran convergencia celular, es decir, múltiples receptores se conectan con una misma célula ganglionar. En la zona de la fovea, sin embargo, una célula ganglionar transmite la información originada a sólo unos pocos o incluso un solo fotorreceptor, lo que hace que esta zona produzca imágenes de alta resolución. Que los bastones tengan más convergencia que los conos producen dos efectos en la percepción: en primer lugar, la visión mediante bastones permite tener más sensibilidad en condiciones de oscuridad, necesitando menos luz para generar una respuesta. En segundo lugar, la visión de los conos permite apreciar mejor los detalles (Adler *et al.* 1994).

Los nervios ópticos de los dos ojos se dirigen hacia atrás y se juntan formando el denominado quiasma óptico, dónde tiene lugar el cruce de sus fibras nasales (las

que provienen de la porción nasal de la retina) (Figura 6). La mayor parte de las fibras del nervio óptico llevan la información al cuerpo geniculado lateral, desde el cual se dirigen a la corteza visual primaria, dónde se realiza un procesamiento básico de la información visual, dando lugar a la sensación de forma, color, orientación y movimiento (Hubel 1999).

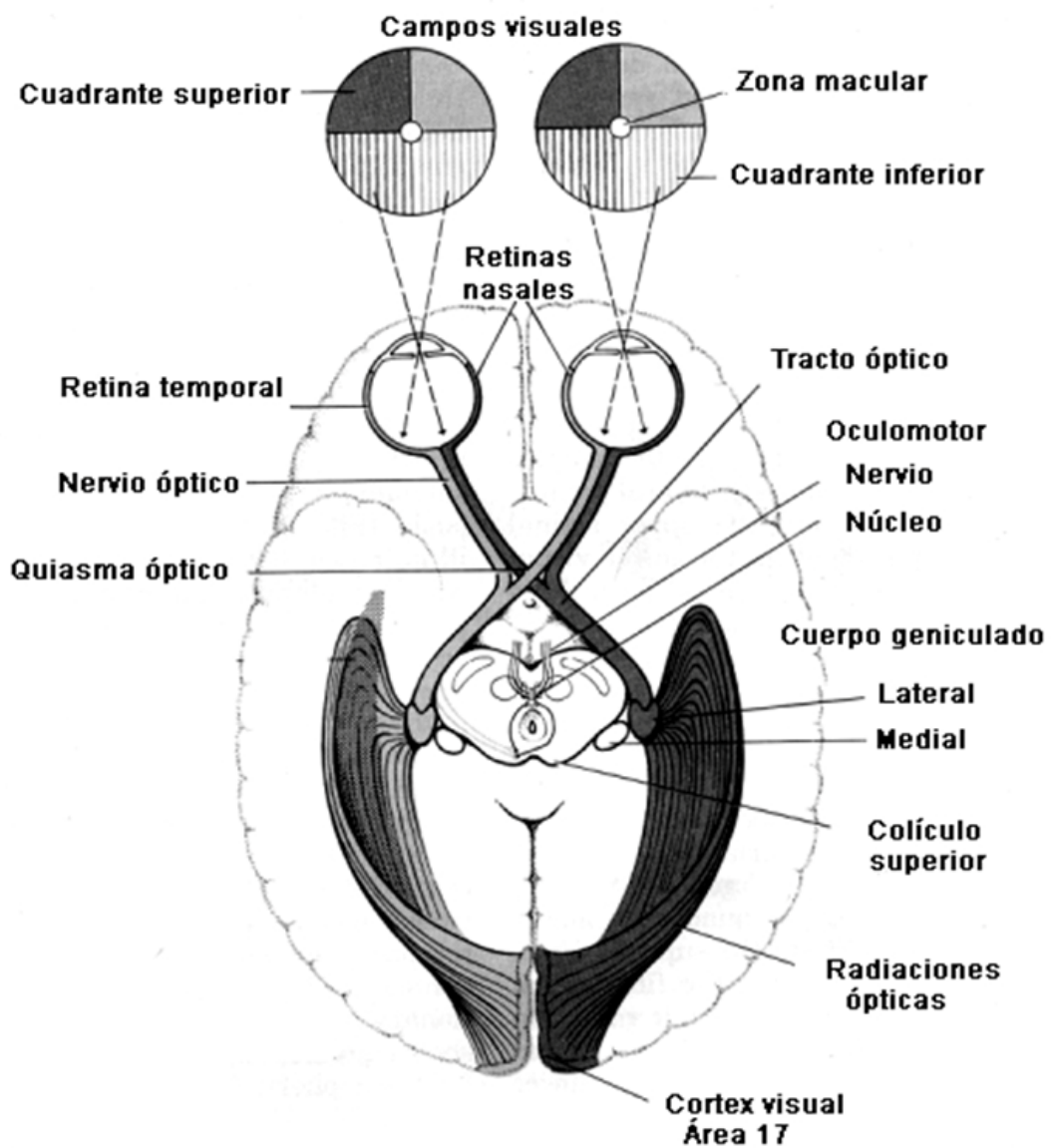


Figura 6: Esquema del sistema visual.

Para la interpretación de esta información se envían fibras desde la corteza visual primaria hacia otras zonas del sistema nervioso central, tales como las áreas visuales de asociación, la corteza primaria contralateral y el tronco del encéfalo (Nicholls y Martin 2001).

El campo visual total está formado por la superposición de los campos visuales de cada uno de los ojos. Dentro de este campo visual se diferencia una porción binocular central, que posibilita la visión estereoscópica o tridimensional, y dos zonas laterales monoculares correspondientes al ojo de cada lado (Rodríguez y Smith Ágreda 2004). La calidad de visión no es uniforme en todo el campo visual, ya que la mayor concentración de fotorreceptores en la región de la fovea hace que esta zona tenga una mayor sensibilidad para los detalles y el color (Martin y Corbett 2001).

2.1.2 TEORÍAS ACERCA DE LA ORGANIZACIÓN PERCEPTUAL Y RECONOCIMIENTO VISUAL DE OBJETOS

El estudio de la organización perceptual tiene como objetivo el análisis de los factores responsables de que los elementos sensoriales se organicen en totalidades coherentes ante nuestra experiencia (Crespo 1999).

El enfoque gestáltico centra su atención en el agrupamiento de características y en la segregación entre figuras (incluyendo la segregación figura fondo) que se producen una vez finalizado ese proceso inicial (Köhler 1947).

No obstante, diversos investigadores han enfocado el problema de la percepción de forma diferente a como lo hicieron los psicólogos de la Gestalt, tratando de explicar la percepción de los objetos partiendo de la idea de que al comenzar el proceso estos son descompuestos en sus partes más elementales, que

posteriormente serán reagrupadas y procesadas. Algunas de estas teorías se centran en la descripción de los procesos rápidos que se producen inicialmente durante la percepción y que se encargan de integrar determinadas características del objeto observado. Dentro de este grupo de hipótesis podemos considerar el enfoque computacional de Marr (Marr 1982) y la teoría de integración de características de Treisman (Treisman y Gelade 1980; Treisman 1986) .

Finalmente existen otras teorías que tratan de describir el proceso de reconocimiento de objetos tridimensionales en diferentes posiciones del espacio, tales como la teoría del reconocimiento por componentes propuesta por Biederman (Biederman 1987; Biederman y Cooper 1991).

A continuación se exponen los aspectos más destacados de cada uno de estos enfoques acerca de la organización perceptual y el reconocimiento visual de objetos.

ESTRUCTURALISMO

Enfoque psicológico desarrollado a finales del siglo XIX por Wilhelm Wundt y sus seguidores en la Universidad de Leipzig. Desde el punto de vista del estructuralismo, la percepción era entendida como una combinación de elementos, a los que se denominaba sensaciones. Fue la corriente psicológica predominante hasta principios de los años 20 del pasado siglo. Sus teorías sirvieron como estímulo para el desarrollo de la Psicología de la Gestalt, que desde un principio se mostró crítica con los principios del estructuralismo.

ENFOQUE GESTÁLTICO

Leyes de organización de la percepción de la Gestalt

Wertheimer, junto con Kurt Kofka e Ivo Kohler, crearon en la Universidad de Frankfurt un laboratorio de investigación especializado en el estudio de la percepción. Realizaron múltiples investigaciones que pusieron en entredicho las teorías sobre la percepción. Una de las principales hipótesis de este grupo era que “el todo es diferente de la suma de sus partes”. Según esta teoría, la forma percibida es una propiedad emergente que no es intrínseca a los componentes de un objeto. En la percepción hay más de lo que está al alcance de los sentidos. Un ejemplo que ilustra este principio es la ilusión de movimiento aparente que se produce cuando dos estímulos situados en posiciones ligeramente diferentes son presentados de forma alternativa con una cadencia adecuada, fenómeno en el que se basan los estroboscopios. Otro experimento que parece demostrar esta teoría es el realizado por Bradley y Petry en 1977, en el que utilizaron la imagen de la Figura 7, que puede imaginarse como un cubo blanco situado sobre círculos negros, en cuyo caso parecen apreciarse las partes no representadas del cubo, o que también puede imaginarse como unos orificios negros a través de los cuales se ve un cubo situado detrás del papel, en cuyo caso no se perciben las partes del cubo no representadas.

Partiendo de esta hipótesis, los psicólogos de la Gestalt se dedicaron a analizar los principios que determinan la organización mental de aquello que percibimos, es decir los que determinan la forma en la cual se unen elementos pequeños para formar objetos más grandes. Como resultado de este análisis enunciaron un conjunto de “leyes de la organización perceptiva” que se tratarán a continuación. Actualmente muchos psicólogos opinan que en realidad deberían denominarse principios y no leyes a estas teorías, puesto que se comportan más bien como heurísticos que sirven para

predecir aquello que va a resultar más probable durante la percepción, pero no aseguran que dichas reglas se vayan a cumplir en todos los casos.

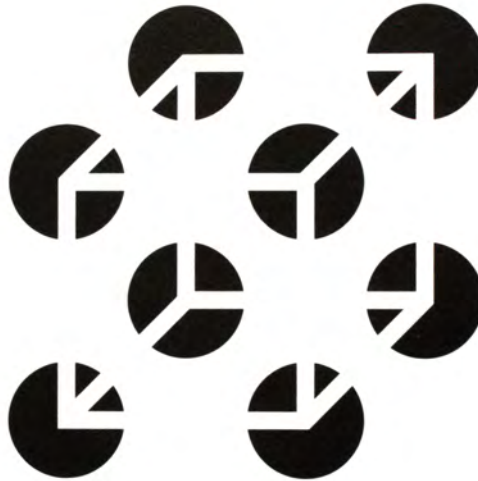


Figura 7: Experimento de Bradley y Petry (1997)



Figura 8: Gracias a la organización perceptiva percibimos objetos a partir de la fusión de formas más pequeñas, como sucede en esta imagen (Fotografía tomada de R. C. James)

Ley de la pregnancia

Se trata de la ley fundamental de la teoría de la Gestalt, también conocida como la ley de la “buena figura”. Esta ley establece que todo patrón estimular tiende a percibirse con la forma resultante más simple de todas. La pregnancia sería pues un mecanismo de la mente que organiza los elementos percibidos. Una de sus funciones fundamentales sería la de reducir posibles ambigüedades surgidas durante la percepción, eligiendo la forma más simple o la más consistente. Por otra parte, la pregnancia sería un mecanismo fundamental de la organización perceptiva al permitir ver los elementos como unidades significativas y coherentes.

Una imagen que ejemplifica esta ley es la que representa los aros olímpicos (Figura 9), en la cual tendemos a ver cinco aros en lugar de una serie de formas complejas unidas entre sí.

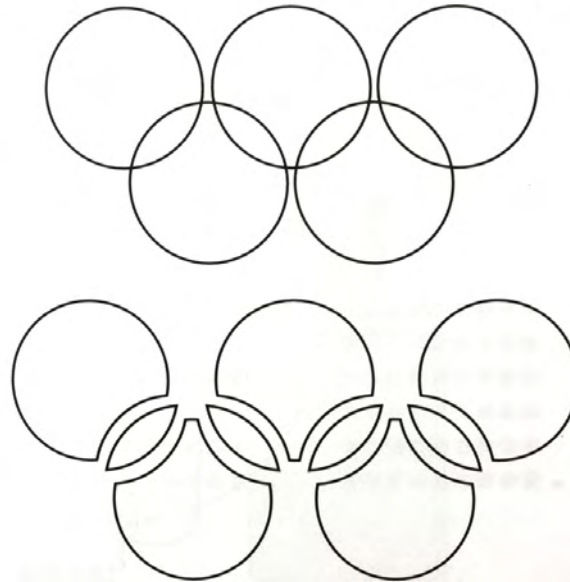


Figura 9: Debido al mecanismo de la pregnancia, la mayoría de las personas que contemplan la imagen superior ven cinco aros y no las formas complejas que se muestran en la imagen inferior (Tomado de Goldstein 2006).

Ley de la similitud o semejanza

Según esta ley los estímulos que son semejantes tienden a percibirse agrupados. La mayor parte de las personas que observan la Figura 10 dicen percibir una serie de filas o columnas de círculos. Sin embargo, si se sustituyen las columnas impares de círculos por cuadrados, entonces la mayoría de los sujetos percibirán columnas de círculos y cuadrados exclusivamente. La similitud puede ser no sólo formal sino que también puede deberse, por ejemplo, al uso de colores, tamaños orientaciones similares.

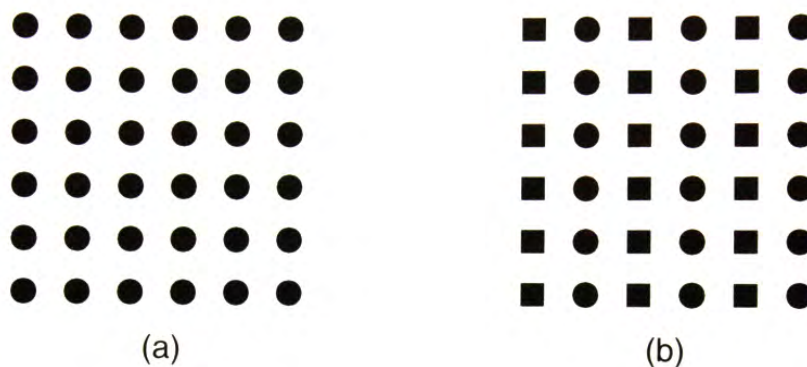


Figura 10: (a) Agrupamiento visual de elementos bien en filas o en columnas. (b) Agrupamiento exclusivamente en columnas debido a similitud de la figura (Tomado de Goldstein 2006).

Ley de la buena continuación

Cuando diversos elementos se encuentran dispuestos en fila formando una línea recta o una curva, tendemos a percibirlos como si pertenecieran al mismo objeto. Cuando existen varias líneas de objetos que se cruzan se tiende a percibir agrupados a aquellos objetos que siguen las trayectorias más suaves. Cuando una de tales líneas se interrumpe la mente continúa el patrón más allá de la interrupción (Figura 11).

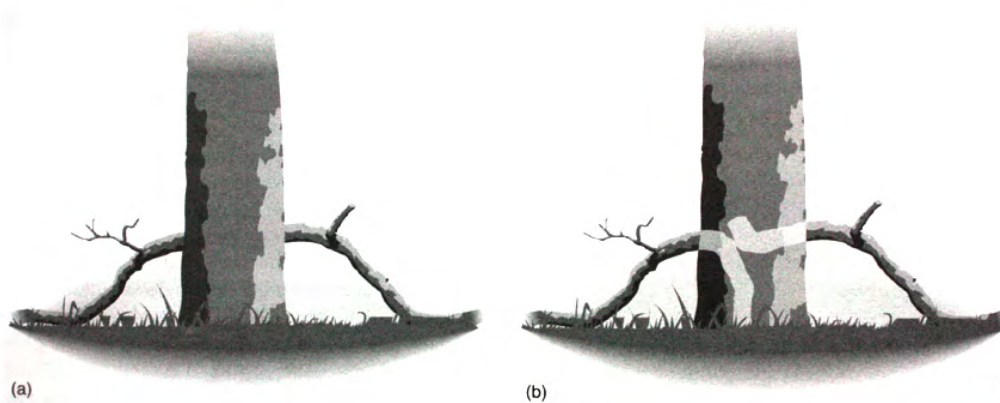


Figura 11: Ejemplo de la Ley de la buena continuidad (Tomado de Goldstein 2006).

Ley de la proximidad o la cercanía

Describe el mecanismo por el cual nuestra mente relaciona aquellos elementos que se encuentran más próximos espacialmente. Un ejemplo que sea utilizado para demostrar esta ley es el que aparece en la Figura 12. En ella podemos apreciar una serie de círculos agrupados en filas y columnas, quedando más próximos entre sí en dirección horizontal que en dirección vertical, lo que determina que sean percibidos por la mayoría de los sujetos como filas de objetos y no como columnas. Incluso cuando se cambian los objetos pares por cuadrados, se siguen percibiendo como filas de objetos y no como columnas.

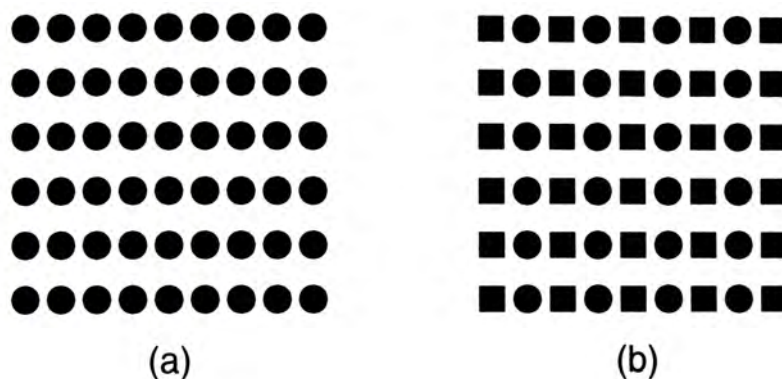


Figura 12: Ejemplo de la Ley de proximidad o cercanía (Tomado de Goldstein 2006).

Ley del cierre

Ante una figura incompleta, nuestra mente añade los elementos que faltan (Figura 13).

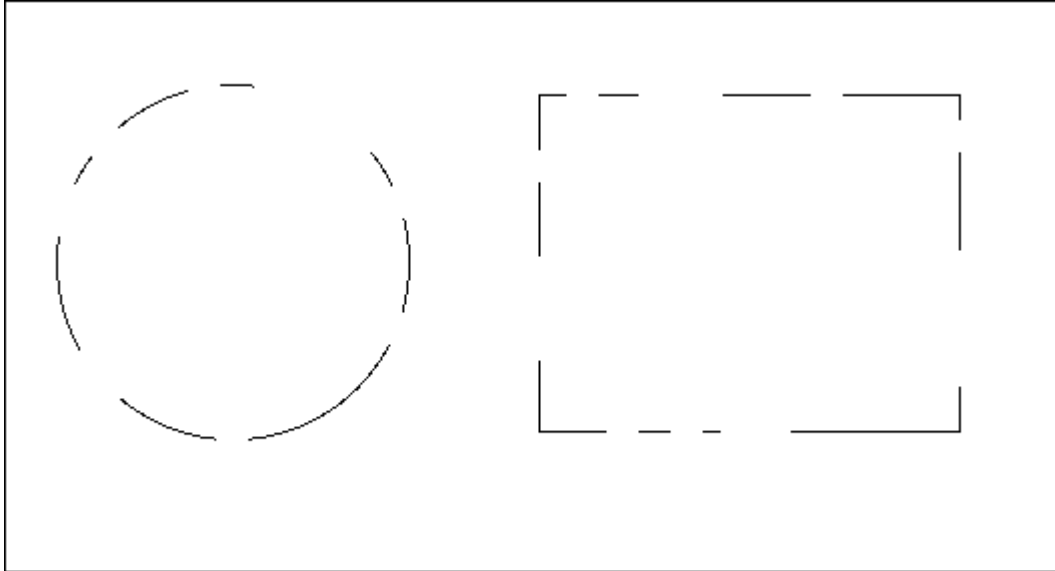


Figura 13: Ejemplos que demuestran la ley del cierre. Vemos un círculo y un rectángulo pese a que en realidad son líneas aisladas.

Ley de la significación o familiaridad

La ley de un conjunto de estímulos se percibe como un grupo u objeto si éste resulta familiar o significativo. Uno de los experimentos realizados para demostrar tal principio se muestra la Figura 14 (Bev Doolittle, 1985). En ella se representa la imagen de un bosque en la que diversos elementos, tales como rocas o ramas están dispuestos formando 12 caras. La tarea del observador consistía en descubrir dichas formas, lo que resultaba difícil en un principio pero una vez descubiertas costaba dejar de observarlas.



Figura 14: Experiencia de Bev Doolittle (1985)

Ley del destino común

Cuando dos o más elementos se desplazan en la misma dirección se consideran pertenecientes a un mismo grupo.

Nuevos principios de la organización de la percepción

Más recientemente investigadores como Stephen Palmer e Irvin Rock han propuesto nuevos mecanismos organizadores de la percepción, a partir de los cuales han enunciado los principios que a continuación se describen.

Principio de la región común

Según este principio se perciben agrupados aquellos objetos que están situados en una misma región espacial. La Figura 15 sirve para ilustrar este principio. En ella se muestra como una serie de círculos situados en línea son percibidos como parejas cuando estos están situados más próximos. Sin embargo, cuando se engloban aquellos círculos que están situados más lejos unos de otros, son estos los que pasan

a ser percibidos como parejas en lugar de los que están más cercanos. Esto sucede porque cada óvalo es considerado como una región separada (Palmer 1992).



Figura 15: Principio de la región común (Tomado de Goldstein 2006).

Principio de la conexión entre elementos

Aquellos objetos que están conectados entre sí se tienden a percibir agrupados. Puede observarse un ejemplo de dicho principio la Figura 16 (Palmer y Rock 1994).



Figura 16: Principio de la conexión entre elementos (Tomado de Goldstein 2006).

Principio de la sincronía

Este principio establece que aquellos estímulos visuales que suceden de forma sincrónica se perciben agrupados. A diferencia del principio de destino común, en este caso los estímulos visuales no tienen por qué tener un movimiento. Podría tratarse por ejemplo de luces que parpadean a un mismo tiempo (Figura 17).

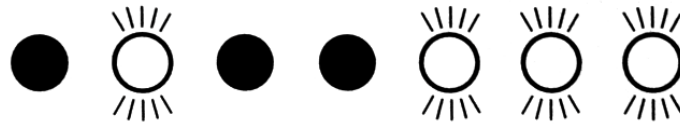


Figura 17: Principio de la sincronía (Tomado de Goldstein 2006).

Heurístico de la oclusión

Cuando una forma está parcialmente oculta por otra, interpretamos que la primera se continúa por detrás de la segunda. En este caso, si extrajéramos la forma que se sitúa aparentemente por delante, las formas que se situaban aparentemente por detrás pueden perder la sensación de unidad y disgregarse el objeto que formaban (Figura 18).

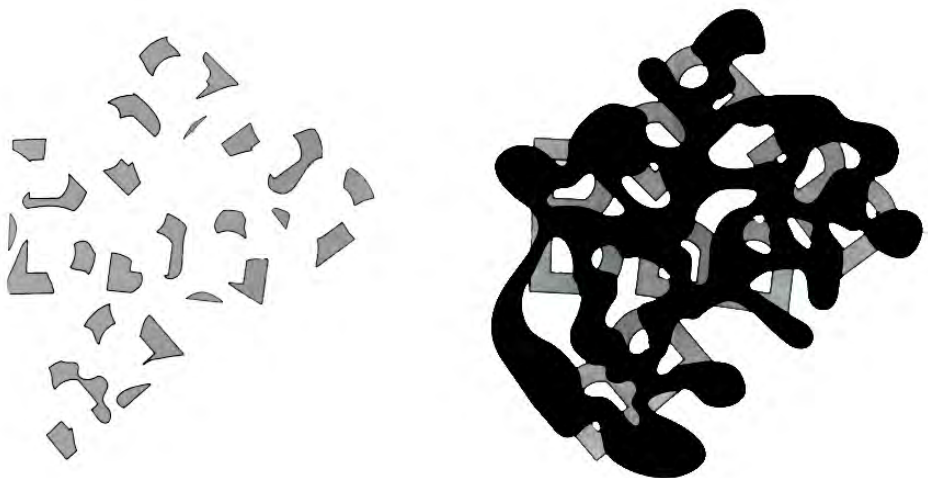


Figura 18: Heurístico de la oclusión (Tomado de Bregman 1981).

Organización de la forma a partir de la iluminación

Otro heurístico que se ha descrito con relación a la percepción es el denominado “luz desde arriba” (Kleffner y Ramachandran 1992), que explica cómo organizamos las formas percibidas suponiendo que la luz viene procedente de la parte

superior del campo visual, tal y como sucede habitualmente en la naturaleza (Figura 19).

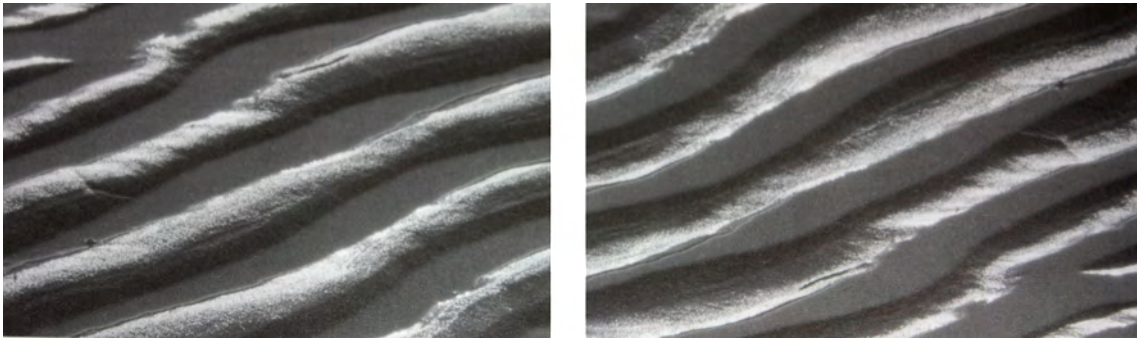


Figura 19: Demostración de la importancia de la suposición de que la luz proviene de arriba. La fotografía de la derecha es idéntica a la de la izquierda salvo porque se ha rotado 180° (Tomado de Goldstein 2006).

La segregación perceptiva (figura-fondo)

Las anteriores leyes sobre la organización de la percepción se ocupan de cómo nuestra mente agrupa los estímulos percibidos en objetos de mayor tamaño. Dado que en condiciones normales los objetos que percibimos no están aislados, es necesario que podamos individualizarlos de aquellos otros que les rodean. Se conoce con el nombre de segregación perceptiva a la capacidad que poseemos que separar entre sí los objetos que percibimos. Existen numerosas teorías que tratan de explicar los mecanismos que dan lugar al fenómeno de la segregación perceptiva, entre otras las que se describen a continuación.

Segregación figura-fondo según el enfoque de la Gestalt

El método empleado fundamentalmente por los teóricos de la Gestalt estaba basado en la creación de imágenes patrón que posteriormente eran analizadas, como la elaborada en 1915 por el psicólogo Edgar Rubin (Figura 26). A partir de dichas

imágenes, estos investigadores enumeraron algunas de las características que poseían la figura y el fondo, entre las cuales figuran las siguientes:

1. La figura posee más forma de objeto y sus rasgos son más característicos que los del fondo, pudiendo ser mejor almacenada en la memoria.
2. La figura aparece siempre delante del fondo.
3. El fondo tiende a verse como un material sin forma que parece continuarse por detrás de la figura.
4. El contorno que sirve de límite entre figura y fondo suele percibirse como perteneciente a la figura.

Estas características pueden ser comprobadas en el ejemplo antes citado de la Figura 26. Así, cuando en la imagen se percibe una copa, el fondo negro parece no tener una forma determinada. Posteriormente, si se fija la atención sobre el fondo negro, éste puede cobrar el carácter de figura al ser percibido como dos caras oscuras sobre un fondo claro (ahora sin forma de copa). Igualmente, cuando entramos nuestra atención en la copa, ésta se ve por delante del fondo negro, pero cuando son las caras las que vemos como figura, entonces aparecen éstas por delante del fondo blanco (Figura 20).

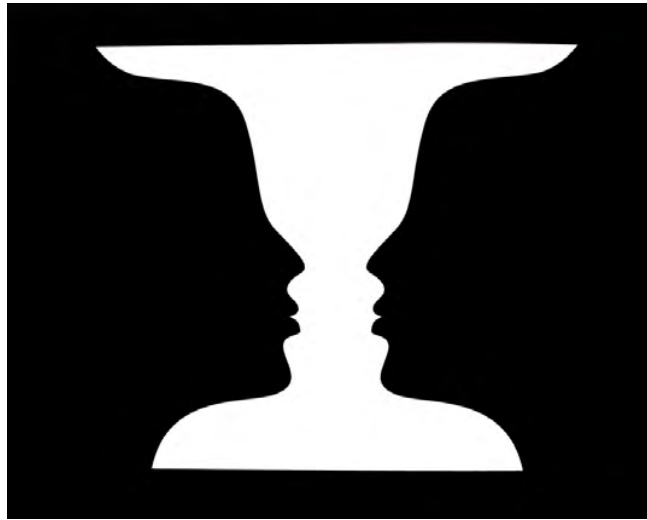


Figura 20: Versión del vaso de Rubin.

Otro asunto importante era el de determinar cuáles eran las razones por las que una zona de la imagen era considerada objeto frente a otra que era considerada como fondo. Con esta finalidad se realizaron diferentes experimentos, que dieron lugar, entre otras, a las siguientes conclusiones:

1. Las formas simétricas son percibidas más fácilmente como forma que las asimétricas (Figura 21).

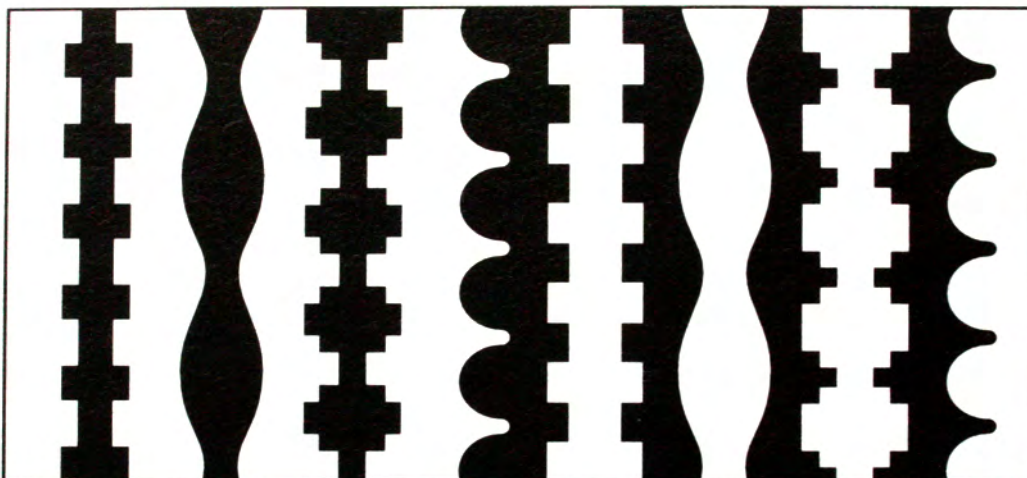


Figura 21: Experimento que demuestra la mayor importancia de la simetría sobre el tono para la determinación de lo que es figura y lo que es fondo.

2. Las formas comparativamente más pequeñas suelen ser vistas como forma frente a las formas mayores, que suelen ser percibidas como fondo (Figura 22).

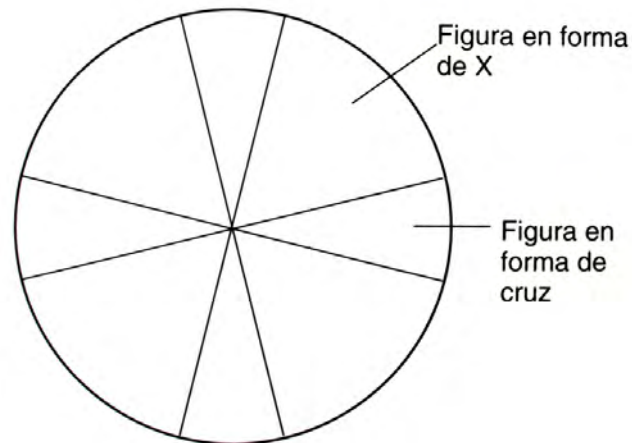


Figura 22: Las formas más pequeñas (figura en forma de cruz) suelen ser percibidas como figura antes que las grandes (figura en forma de X).

3. Las formas orientadas según el eje vertical y horizontal suele ser más fácilmente vistas como forma que aquellas que se orientan según ejes oblicuos (Figura 23).

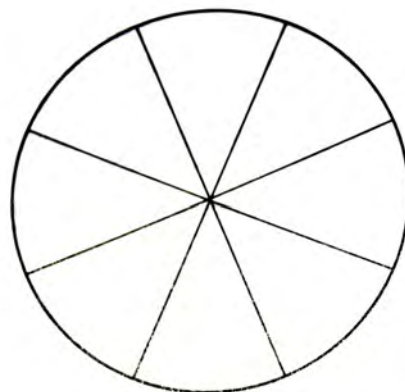


Figura 23: Ejemplo creado para demostrar que las figuras orientadas según el eje horizontal o vertical suelen verse más fácilmente como figura que las oblicuas.

4. Las formas significativas son percibidas como forma en mayor medida que las formas no significativas (Figura 24 y Figura 25).

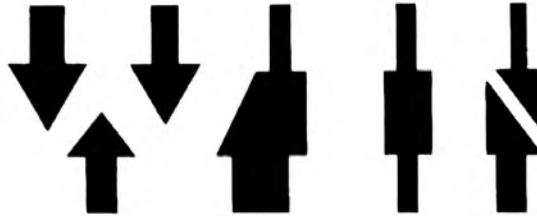


Figura 24: Percepción de formas significativas (a).

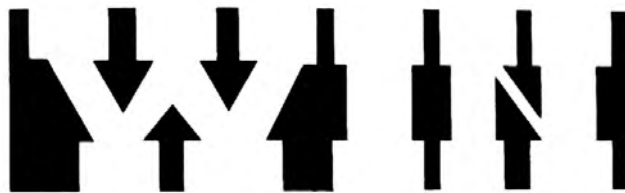


Figura 25: Percepción de formas significativas (b).

Teorías recientes sobre la segregación de figura y fondo

Uno de los aspectos que se han estudiado recientemente en relación con la segregación de la figura y fondo tiene que ver con el contorno que separa a ambos en imágenes reversibles (con áreas que pueden funcionar alternativamente como figura o como fondo). Una de las explicaciones que se han propuesto es que en este tipo de imágenes nuestro sistema visual opta por la opción más sencilla de entre las posibles. Por ejemplo la imagen que aparece en la Figura 26 puede ser vista como dos caras, como una copa o como dos caras y una copa, pero las opciones más sencillas son las dos primeras, puesto que no es probable que en una escena haya coincidencias exactas entre contornos tan complejos como una copa y dos rostros (Goldstein 2006).

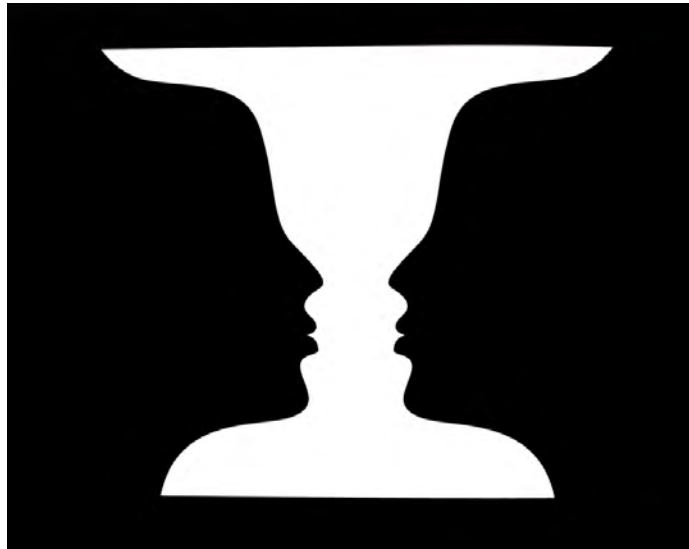


Figura 26: Versión del vaso de Rubin.

Otros estudios sobre la segregación de figura y fondo se han centrado en el orden de los acontecimientos que tienen lugar durante la percepción, concretamente en sí el reconocimiento es previo a la segregación o viceversa. Aunque hasta fechas recientes ha sido aceptado por la mayoría de los investigadores el hecho de que la segregación antecede al reconocimiento, un estudio realizado por Mary Peterson en 1994 parece poner en duda esta teoría (Peterson 1994). En este trabajo se mostraba a los sujetos durante una fracción de segundo una imagen compuesta por dos áreas, siendo una de ellas más significativa que la otra (Figura 27). La mayoría ellos apuntaba al área más significativa como figura, aunque esta tendencia era menor al dar la vuelta a la imagen y perder parte de su significado.



Figura 27: silueta esquemática de mujer

ENFOQUE COMPUTACIONAL DE MARR

David Marr analizó el sistema visual comparándolo con el funcionamiento del ordenador que hubiese sido diseñado para percibir objetos. Según este enfoque, una vez que la imagen del objeto es captada por la retina, la imagen es procesada para determinar sus características básicas, generándose un "esbozo primitivo". En dicho esbozo se identifican los bordes de los objetos, ignorando para ello los efectos de iluminación y las sombras que pudieran ocultar los mismos. En este proceso, el sistema visual tiene en cuenta las restricciones naturales a las que están sujetas los objetos de nuestro entorno, tales como la diferente transición que existe entre zonas de luz y sombra proyectadas sobre un objeto respecto al cambio de intensidad que se

produce en su contorno. Ese esbozo primitivo no llega a hacerse consciente, y debe ser procesado para que la percepción consciente tenga lugar (Marr 1982).

Marr falleció antes de poder concluir sus estudios, pero su teoría tuvo una influencia notable en otros investigadores posteriores.

LA TEORÍA DE INTEGRACIÓN DE CARACTERÍSTICAS (TIC) DE TREISMAN

Esta teoría afirma que la percepción de objetos se produce siguiendo una determinada secuencia de etapas. La primera de ellas, que se denomina preatencional, consiste en un análisis inicial de la imagen para determinar una serie de características que se corresponden con las unidades básicas de percepción, tales como el color, la orientación, etc. Durante esta fase de la percepción, las características detectadas son consideradas de forma aislada las unas a las otras. La segunda etapa se denomina etapa de atención focalizada, y en ella el sistema perceptivo integra las unidades básicas en un objeto complejo, que posteriormente es comparado con la información de objetos similares que ha sido guardada en la memoria a partir de experiencias previas (Treisman y Gelade 1980; Treisman 1986) (Figura 28 y Figura 29)



Figura 28: Uno de los métodos de detección de las características básicas de la imagen que son captadas en la primera etapa de la percepción de objetos es la búsqueda visual. En el ejemplo, los observadores tienden a detectar rápidamente la letra "O" debido a que existen características diferenciadas en los elementos presentados.

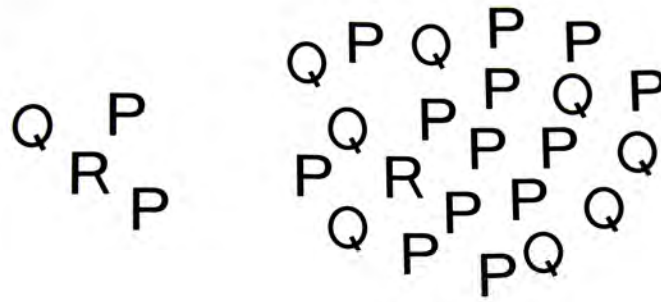


Figura 29: Cuando los estímulos presentados tienen un mayor parecido formal con el objetivo buscado (R), su localización se vuelve más difícil al incrementar el número de elementos presentados.

TEORÍA DEL RECONOCIMIENTO POR COMPONENTES O GEONES (RPC) DE BIEDERMAN

Al igual que la teoría anterior, este enfoque está basado en la existencia de un "alfabeto" de características básicas que se integrarán para dar lugar a la percepción de un objeto. En este caso las unidades propuestas son denominadas primitivos volumétricos o geones (iones geométricos), y se corresponden con formas tridimensionales que representan distintas partes de un objeto (Figura 30).

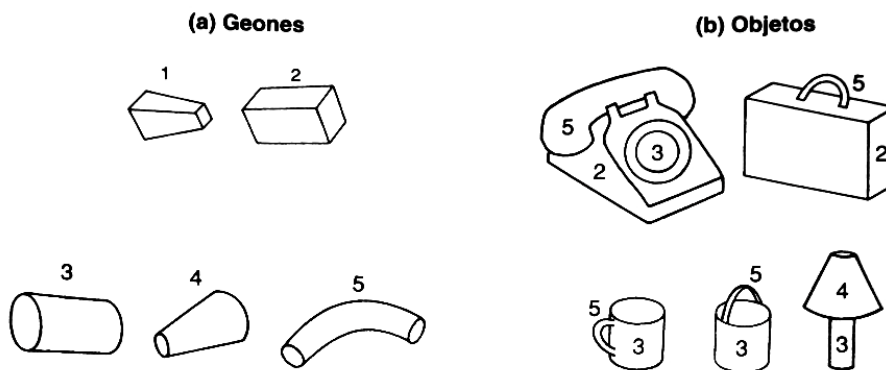


Figura 30: Representación de algunos geones (a) y diferentes objetos creados a partir de ellos (b). Los números en los objetos indican los geones que los componen. La ubicación relativa de los geones también es importante, como se puede apreciar en la jarra y el cubo (Tomado de Biederman, 1987).

Biederman definió 36 geones distintos que podían dar lugar mediante combinación a muchos miles de objetos. Biederman atribuyó a los geones las siguientes características:

1. **Invarianza a la vista**, que consiste en que estos geones pueden ser reconocidos cuando son observados desde distintos puntos de vista.
2. **Discriminabilidad** o capacidad de los geones para ser distinguidos de otros desde casi cualquier punto de vista.
3. **Resistencia al ruido visual**, que se pone de manifiesto cuando un objeto es observado en condiciones que dificultan su visión completa. En estos casos, si los geones permanecen visibles, el objeto podrá ser identificado.

El principio de reconocimiento por componentes se refiere a la capacidad que poseemos para reconocer objetos incluso cuando varias de sus partes están ocultas por otros objetos (Figura 31). Este principio permite reconocer categorías amplias de objetos, pero no explica la capacidad de reconocimiento de aquellos objetos que poseen características similares y que comparten, por tanto, numerosos geones (Biederman 1987; Biederman y Cooper 1991).

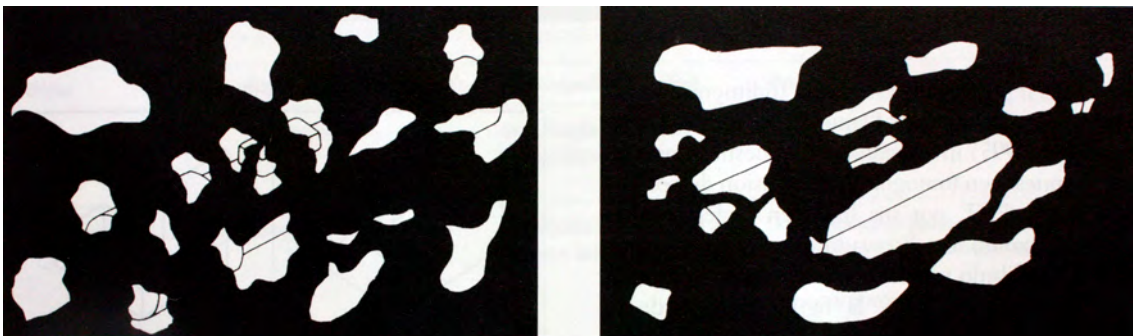


Figura 31: Pese al drástico enmascaramiento, en la imagen de la izquierda todavía es reconocible el objeto oculto al permanecer visibles parte de los geones. En la imagen de la derecha, tras ocultarlos, el reconocimiento es casi imposible (Tomado de Biederman, 1987).

2.1.3 LA PERCEPCIÓN DEL COLOR

La percepción del color cumple importantes funciones en el ser humano. Una de ellas es la de señalización, que nos permite identificar y clasificar los objetos (diferenciar, por ejemplo, una naranja madura de una verde). De no menos importancia es la función de organización perceptiva, mediante la cual el color permite diferenciar unos objetos de otros y del fondo sobre el que se presentan. Ésta es esencial para la supervivencia de diferentes especies animales, entre ellas la del ser humano, porque en ella se basa la capacidad para encontrar determinados alimentos, tales como frutos en medio del follaje, lo que supone una ventaja evolutiva importante sobre aquellos animales que no distinguen los colores (Figura 32). Algunos investigadores creen que ésta fue una de las razones por las que el sistema visual se desarrolló en los primates (Walls 1942; Mollon 1989; Mollon 2000).



Figura 32: La visión del color permite detectar alimentos o peligros potenciales en la naturaleza.

FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DE LA VISIÓN DEL COLOR

El espectro visible está compuesto por rayos de luz de diferentes longitudes de onda, que son percibidos como colores diferentes por nuestro sistema visual. Cuando la luz incide en un objeto, sus rayos son reflejados en mayor o menor medida en función de la Composición química de aquel. Algunos objetos reflejan por igual todas

las longitudes de onda, percibiéndose de color blanco o negro o gris (colores acromáticos). Sin embargo otros objetos reflejan en mayor medida la luz de unas determinadas longitudes de onda que la de otras, viéndose entonces de color rojo, verde, amarillo, etc. (colores cromáticos) .

Por otra parte, existen objetos transparentes o translúcidos, cuyo color es debido a la transmisión selectiva de luz de longitudes de onda concretas. Entre dichos objetos se encuentran, por ejemplo, el cristal, el plástico o los líquidos.

Además de la reflexión o la transmisión de la luz, el color de un objeto se ve también influenciado por el color de los objetos que lo rodean.

Teoría tricromática de la visión

Esta teoría fue propuesta por Thomas Young (1773-1829) y Hermann von Helmholtz (1821-1894) para explicar la forma en que nuestro sistema visual es capaz de establecer diferencias de color en los objetos que observamos. Debido a que en su época no existían medios suficientes para conocer la fisiología de la visión, ambos investigadores se basaron en experimentos psicofísicos de igualación de colores, en los que distintos sujetos debían ajustar las cantidades de tres haces de luz de diferentes longitudes de onda para igualarlas a una muestra de luz de una única longitud de onda. Mediante estos estudios, pudieron demostrar que los individuos con visión cromática normal podían igualar la luz de la muestra para cualquier longitud de onda utilizando tres haces de luz de diferente longitud de onda, mientras que con tan sólo dos haces no era posible igualar determinados colores. Basándose en los resultados de estas investigaciones se dedujo que debían existir tres mecanismos receptores con sensibilidad específica para distintas zonas del espectro de la luz visible. Dichos receptores, al ser estimulados por una luz de una longitud de onda

concreta generará un patrón de actividad que será interpretado en el sistema nervioso como un color determinado.

Estos hallazgos fueron posteriormente confirmados mediante investigaciones fisiológicas que condujeron a la identificación en la retina de los diferentes receptores para la luz. Existen dos tipos de células receptoras para la luz: los bastones, incapaces de distinguir los colores, y los conos, que poseen unos pigmentos con absorción máxima para cada una de las zonas del espectro visible (onda corta, media y larga). La diferente absorción para la luz de los conos determina su capacidad para diferenciar los colores. Dependiendo de las características de la luz que incida en los receptores, ésta será absorbida en mayor o menor medida por cada uno de ellos, traduciéndose posteriormente el estímulo lumínico en una señal bioeléctrica en función del patrón de actividad combinada de los tres tipos de fotorreceptores.

Teoría de los procesos oponentes en la visión de los colores

De forma paralela a la teoría tricromática de la visión de los colores, Ewald Hering (1834-1918) desarrolló otra teoría basada en las respuestas oponentes generadas tanto por los colores azul y amarillo como por el rojo y el verde. Durante algún tiempo ambas teorías se consideraron incompatibles pero descubrimientos recientes en fisiología ocular han demostrado que ambas tienen su importancia en el proceso de visión de los colores, sirviendo cada una para explicar distintos fenómenos relacionados con éste.

Hering observó que la contemplación de una masa de color rojo generaba al cabo de un tiempo una *postimagen* de color verde en el campo visual, que se hacía evidente al mirar sobre una superficie blanca y parpadear. Esto le llevó a pensar que el rojo y el verde estaban relacionados y lo mismo propuso para el color amarillo y el

azul. Por otra parte Hering observó que las personas ciegas al color rojo también lo eran al color verde y que lo mismo sucedía con el amarillo y con el azul.

Otro fenómeno que apoyaba la teoría de los procesos oponentes es el descubrimiento del *contraste simultáneo de los colores*, mediante el cual la percepción de un color es modificada por los colores que rodean al mismo (Figura 33).

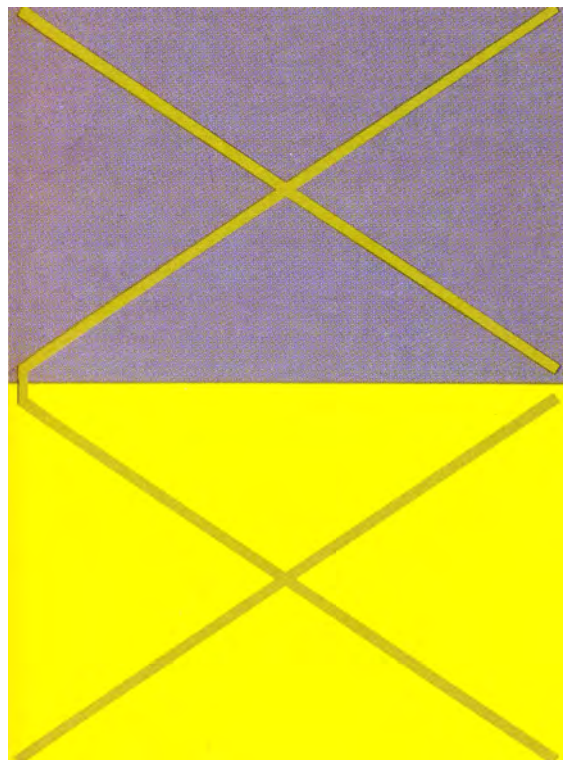


Figura 33: Composición de Josef Albers basada en el contraste simultáneo. Las dos cruces son exactamente del mismo color.

Tal como sucedió con la teoría tricromática de los colores, investigaciones recientes han esclarecido los mecanismos fisiológicos por los cuales estos fenómenos tienen lugar, descubriéndose a mediados del siglo XX neuronas oponentes en la retina y en el *núcleo geniculado lateral*. Estas neuronas tienen la característica de producir una respuesta excitatoria a la luz de un extremo del espectro (por ejemplo, rojo) e

inhibitoria a la luz del extremo opuesto (verde). Estas neuronas se encuentran situadas en la vía óptica por detrás de los receptores retinianos y modifican los datos recogidos por los receptores retinianos, transformando la información tricromática en respuestas oponentes que permiten una transmisión de la información mucho más eficaz e inequívoca.

La codificación de los colores en la corteza cerebral

Aunque hay teorías que apuntan a la existencia de un área cortical específica para la discriminación de los colores (Livingstone y Hubel 1988; Zeki 1990; Zeki, Watson, Lueck, Friston, Kennard y Frackowiak 1991), basadas, entre otros hechos en la existencia de personas con ceguera para el color tras una lesión cerebral que afectaba a dicha área, otros hallazgos cuestionan este hecho y apuntan a un mecanismo más complejo. Mediante registro de la actividad neuronal se ha podido comprobar cómo la respuesta al color tiene lugar en diferentes áreas de la corteza (Lennie, Krauskopf y Sclar 1990; Schein y Desimone 1990; Leventhal, Thompson, Liu, Zhou y Ault 1995).

Constancia cromática

Pese a ser capaces de discriminar con bastante eficacia colores con diferentes longitudes de onda, paradójicamente existe una gran estabilidad de la percepción del color en condiciones de iluminación muy distintas que modifican en gran manera la luz reflejada por los objetos (Uchikawa, Uchikawa y Boynton 1989). Este fenómeno ha sido denominado *constancia cromática* y es el responsable de que percibamos los objetos con una mínima variación de color al pasar, por ejemplo, de una habitación iluminada con luz de tungsteno a una habitación iluminada con luz solar.

La explicación a la constancia cromática es que existe una disminución de la sensibilidad del ojo a aquellas longitudes de onda que predominan en el área de observación, fenómeno conocido como *adaptación cromática*, que da lugar a una percepción del color relativamente invariable.

Existe otro fenómeno que contribuye a la constancia cromática y que se conoce como *memoria del color*. Consiste básicamente en que el color de un objeto se ve influenciado por el conocimiento que los sujetos tienen acerca de su color. Así, es frecuente que se sobreestime la saturación de color que aquellos objetos que previamente se conoce frente a los objetos desconocidos que reflejan la misma longitud de onda (Ratner y McCarthy 1990; Jin y Shevell 1996).

Constancia de luminosidad

La constancia de luminosidad permite percibir el color de los objetos acromáticos de una forma más o menos estable cuando estos son sometidos a fuentes de luz de muy distinta intensidad. De este modo, vemos un papel de color blanco tanto a la luz del sol como a la de una bombilla. Esto se debe a que nuestra percepción de la luminosidad de un objeto no depende tanto de la cantidad de luz que refleja (en el ejemplo es mucho mayor en el caso del papel bajo la luz del sol que bajo una bombilla), como del porcentaje de luz que es reflejado por dicho objeto en comparación con el porcentaje de luz que reflejan los objetos de su entorno (Goldstein 2006). Así, cuando observamos un material bajo una fuente de luz, nuestro sistema visual establece la diferencia entre la luz reflejada por éste y la reflejada por otros objetos sometidos a la misma intensidad lumínica. Como esta diferencia se mantiene cuando dichos objetos son sometidos a otra fuente de luz de distinta intensidad, esto hace que el sistema visual interprete que lo que cambia no es el color de los objetos sino la iluminación (Figura 34).

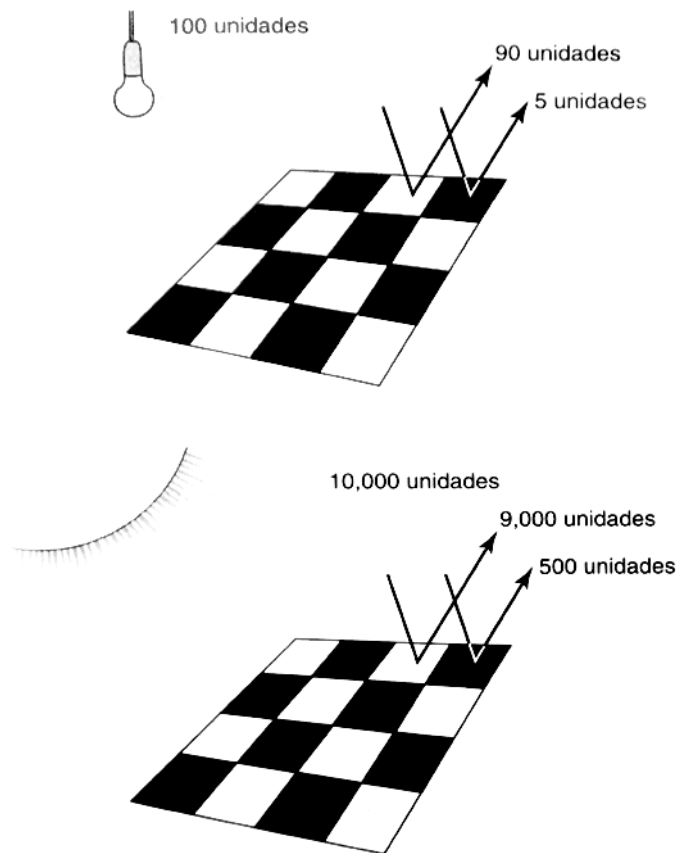


Figura 34: La constancia de luminosidad permite ver de forma estable el valor tonal de los objetos cuando son sometidos a fuentes de luz muy distintas. Esto se debe a que la relación de luz reflejada por los diferentes objetos de la escena es más importante que la luz que cada uno de ellos refleja. En el ejemplo, con fuentes de luz diferentes, la relación 9/5 se mantiene (Tomado de Goldstein, 2006).

El análisis que debe efectuar nuestro sistema perceptivo se vuelve más complejo para escenas tridimensionales, en las que además de existir materiales con diferente reflectancia, la iluminación no es homogénea debido a que el volumen de los objetos produce múltiples modificaciones en la dirección de la luz incidente. En ellas el sistema visual debe determinar en cada momento si la diferencia de tono entre dos áreas es debida a un borde de reflectancia o un borde de iluminación. En el primer caso, la diferencia de luz reflejada por ambas áreas es diferente debido a que están formadas por materiales diferentes. En el segundo caso, la diferencia en la cantidad de

luz reflejada obedecerá a un cambio en el patrón de iluminación debido a la presencia de una sombra (Figura 35).

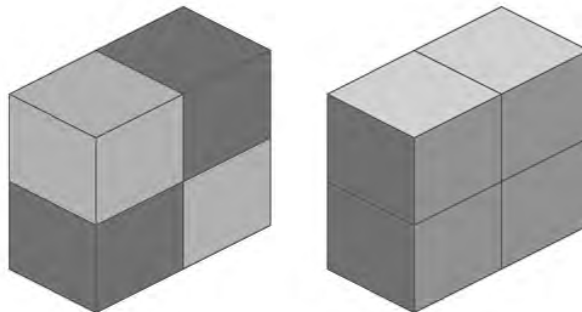


Figura 35: Borde de reflectancia frente a borde de iluminación. En el dibujo de la izquierda se ha construido teniendo únicamente en cuenta la diferencia de color del material (reflectancia) y en la de la derecha las diferencias de tono se deben a la iluminación.

Se han propuesto diferentes explicaciones teóricas para explicar cómo conseguimos diferenciar entre un borde de iluminación y otro de reflectancia, es decir, cómo logramos diferenciar una sombra de un cambio de color del material. Uno de los factores que más influyen parece ser la forma de la sombra, puesto que si ésta se parece a un objeto conocido será más fácil identificarla. También parece determinante la zona de penumbra, que es la zona de tránsito difusa que existe entre el área de sombra y el área iluminada. Cuando se enmascara la zona de penumbra se hace mucho más difícil identificar la sombra como tal, lo que puede llevar a interpretarla como un área de distinto color (Figura 36).

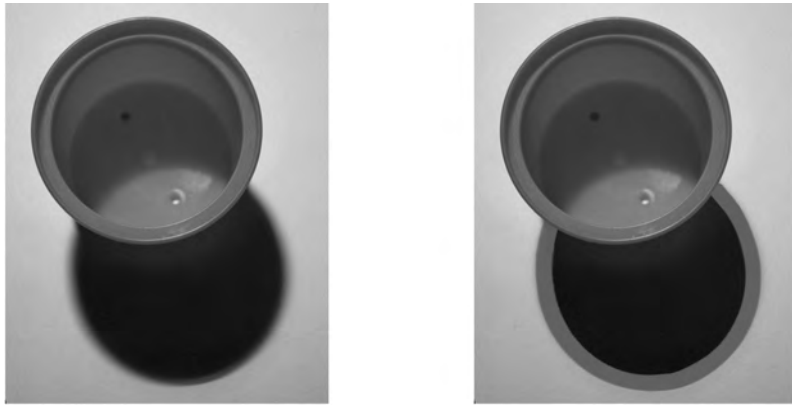


Figura 36: Importancia de la zona de penumbra para la interpretación correcta de una sombra. En la imagen de la izquierda se observa el área de penumbra en la periferia de la sombra. En la imagen de la derecha, una vez enmascarada el área de penumbra, resulta más difícil identificar la sombra como tal.

Finalmente diferentes experimentos han demostrado que otro factor a considerar para el reconocimiento de sombras es el conocimiento que previamente tenemos de las formas de los objetos y de la manera en que la luz modela su volumen.

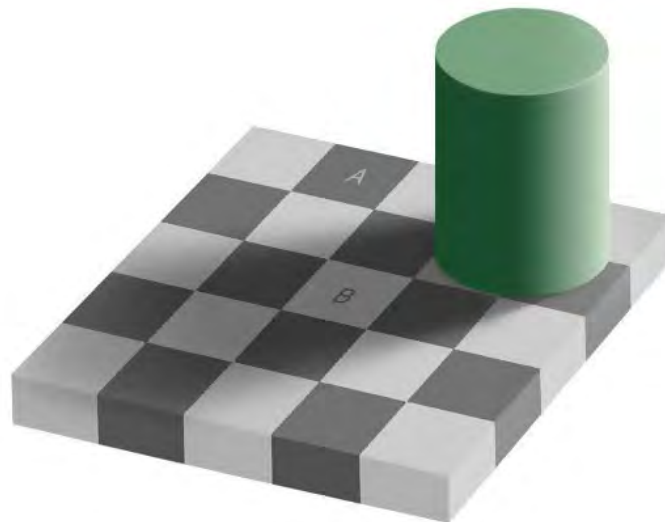


Figura 37: Ilusión de Adelson. Gracias a la correcta identificación de la sombra, vemos los cuadros blancos iguales entre sí y diferentes de los negros, pese a que realmente las dos áreas marcadas con las letras A y B tienen exactamente el mismo color.

2.1.4 LA PERCEPCIÓN DE LA PROFUNDIDAD Y DEL TAMAÑO

La imagen que se forma en el ojo a partir de los rayos de luz que inciden en la retina es bidimensional, lo que, en principio, no permitiría distinguir a qué distancia se encuentran los diferentes objetos que podemos observar en una escena. No obstante, se han descrito una serie de claves que determinan la percepción de la profundidad y que, según proponen diferentes autores, son asociadas por cada individuo mediante su experiencia sensible a la sensación de tridimensionalidad. Una vez establecida dicha asociación a través del aprendizaje, ésta se va a reproducir automáticamente para toda situación similar a la de origen, dando lugar a la visión espacial.

Dentro de las claves identificadas para la percepción de profundidad, se han considerado tanto claves monoculares como claves binoculares.

CLAVES MONOCULARES DE PERCEPCIÓN DE PROFUNDIDAD

Estas claves han sido descritas para la visión con un solo ojo, siendo las siguientes las más destacadas: la acomodación, las claves pictóricas y las claves de movimiento.

La acomodación

Diferentes investigadores han propuesto que nuestro sistema perceptivo es capaz de detectar la tensión muscular que se produce en los movimientos de acomodación de nuestros ojos y asociarlos a diferentes sensaciones de profundidad.

La acomodación se debe al abombamiento del cristalino por la contracción del músculo ciliar que tiene lugar cuando se enfoca la mirada sobre un objeto próximo. El esfuerzo de acomodación indicaría al observador que el objeto en el que centra la

mirada está situado más cerca de él, resultando útil como clave de profundidad, especialmente para distancias inferiores a 40 cm.

Las claves pictóricas

Comprenden el conjunto de datos relativos a la profundidad espacial que pueden que pueden ser representados en una imagen bidimensional.

Una de las principales claves de profundidad es la denominada **oclusión**, que se produce cuando un objeto oculta parcialmente a otro que aparentemente está situado por detrás de aquél. La oclusión solamente informa sobre la posición relativa de dos objetos pero no indica la distancia absoluta a la que estos se encuentran del observador.

Otra clave pictórica de profundidad la proporciona la **posición relativa al horizonte** de los objetos en la imagen. Esta sensación tiene que ver con la disposición en el campo visual que ocupan los objetos en nuestro entorno natural. Así, lo normal es que por debajo de la línea de horizonte, los objetos más alejados se sitúen por encima de los que están más cerca. Por el contrario, por encima de la línea de horizonte los objetos más alejados suelen localizarse por debajo de los que están más cerca (Monserrat 2008) (Figura 38).

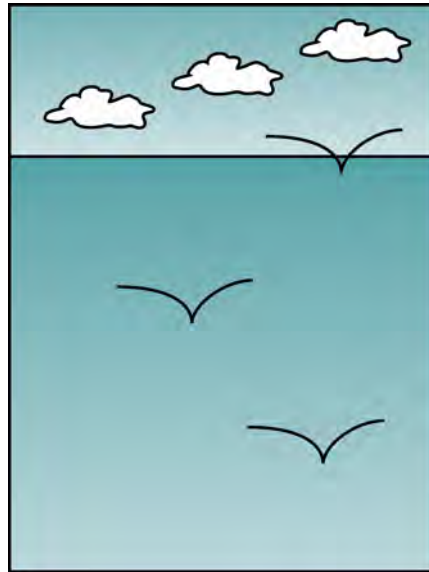


Figura 38: Los objetos cerca de la línea de horizonte parecen más lejanos

Las **sombras proyectadas** constituyen otra clave pictórica de profundidad, pues ayuda a ubicar los objetos en el espacio en función de su orientación, dimensiones, intensidad, área de penumbra, relación con la fuente de iluminación, etc.

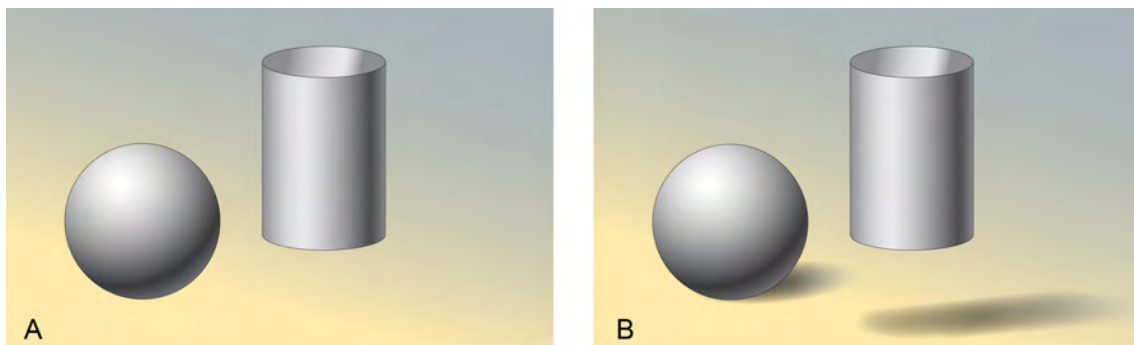


Figura 39: Sin sombras proyectadas el cilindro parece situarse más lejos al tener mayor altura relativa (A). Con sombras proyectadas el cilindro parece situarse más cerca, aunque flotando en el aire (B).

El **tamaño relativo** también ejerce un papel destacado como clave de profundidad. Según este principio, si dos objetos tienen el mismo tamaño y están situados a distintas distancias, aquel que esté más próximo se verá de mayor tamaño

que el que se encuentre más alejado. Se parte de la suposición de que los objetos representados tienen un tamaño conocido y semejante (Figura 40).

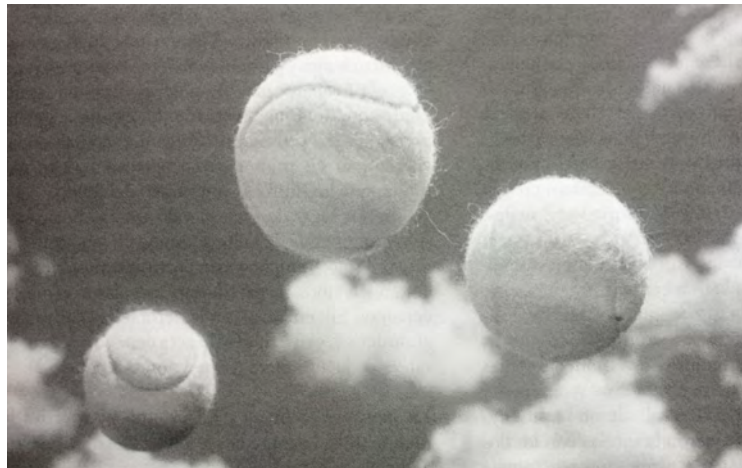


Figura 40: Tamaño relativo como clave de profundidad.

En aquellos casos en los que los objetos representados tienen un tamaño diferente, también puede deducirse la distancia a la que se encuentran a partir de la clave basada en el **tamaño familiar**. William Epstein (1965) demostró mediante un experimento con fotografías de monedas diferentes pero representadas con el mismo tamaño, que nuestro conocimiento previo sobre la dimensión de las cosas influye en la percepción de la distancia a la que éstas se encuentran. Así, los sujetos participantes en el experimento, al mirar por un solo ojo, juzgaban como más próxima la moneda de menor tamaño en la realidad, pese a que en la fotografía mostrada tenía exactamente el mismo tamaño que las otras monedas. Este resultado no se produjo cuando los sujetos observaron las fotografías de las monedas con ambos ojos, porque la visión binocular ofrece claves complementarias para la percepción de la profundidad (Epstein 1965).



Figura 41: Fotografías similares a las que se mostraron en el experimento de Epstein, en las que el tamaño de las monedas se ha igualado. Pese a ello, cuando los sujetos participantes en el experimento las observaron con visión monocular, las juzgaron de distinto tamaño debido al efecto del tamaño familiar

Un recurso pictórico utilizado con frecuencia es la denominada **perspectiva atmosférica**, basada en un fenómeno que tiene lugar en el mundo real, mediante el cual los objetos distantes se perciben con menor nitidez. Esto se debe a que la masa de aire interpuesta entre el objeto y el observador es mayor y, por tanto, también lo será la cantidad de partículas de polvo, gotas de agua y contaminantes atmosféricos (Monserrat 2008) (Figura 42).



Figura 42: Perspectiva atmosférica.

La **perspectiva lineal** es una técnica de dibujo que permite representar en dos dimensiones un espacio tridimensional. Este método está basado en la proyección de los cuerpos sobre el plano mediante líneas que unen sus puntos notables con el ojo, atravesando el plano de dibujo. En este tipo de perspectiva las líneas paralelas convergen conforme aumenta la distancia al observador, hasta encontrarse en el infinito, en los denominados puntos de fuga.

El **gradiente de textura** es otra clave de profundidad empleada en las representaciones bidimensionales del espacio (Figura 43). Diferentes investigaciones han demostrado que la textura es un factor importante para determinar la distancia a la que se encuentran los objetos, especialmente aquella que posee el suelo o superficie donde se apoyan, ya que cuando ésta es eliminada resulta más difícil averiguar la distancia a un determinado cuerpo (Gibson 1950; Sinai, Ooi y He 1998) (Figura 44).

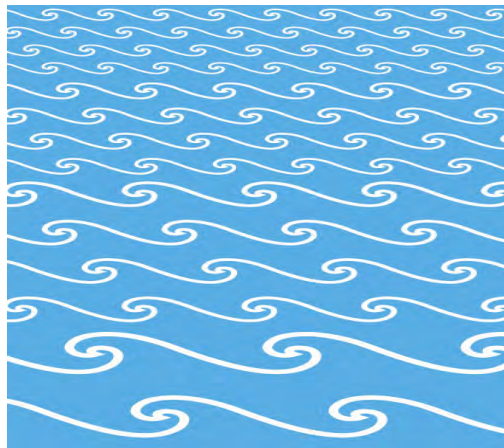


Figura 43: Gradiente de textura

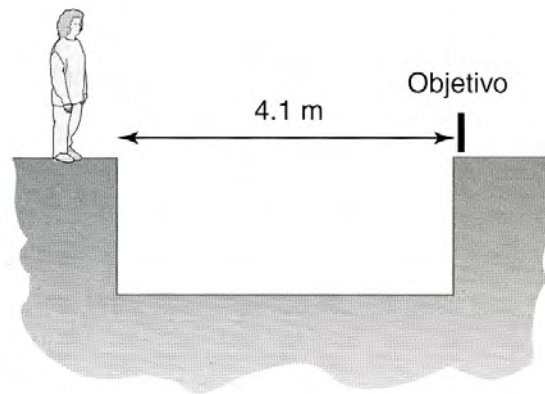


Figura 44: Cálculo de distancia sin suelo

Claves debidas al movimiento

Dentro de las claves monoculares dinámicas que permiten percibir el espacio tridimensional, podemos considerar en primer lugar el **paralaje del movimiento**. Este fenómeno fue descrito por Helmholtz (1866-1911), quien observó que, cuando un observador se desplaza, los objetos cercanos parecen moverse con más rapidez que los lejanos. Esto puede orientarnos acerca de la distancia a la que se encuentran las cosas que vemos en nuestro entorno. La explicación fisiológica a este fenómeno es que, cuando el observador cambia de posición, la proyección sobre la retina de los objetos que ve se desplaza en mayor medida para aquellos que están situados más cerca que para aquellos que están más alejados (Figura 45).

Otra clave de profundidad originada por el movimiento es conocida como **eliminación y acrecentamiento**. Según dicha clave, cuando dos superficies se encuentran a diferente distancia del observador, cualquier movimiento lateral de éste produce la sensación de movimiento relativo entre ellas, provocando que la superficie posterior quede más tapada (eliminada) o, por el contrario, quede más destapada (acrecentada) (Figura 46).

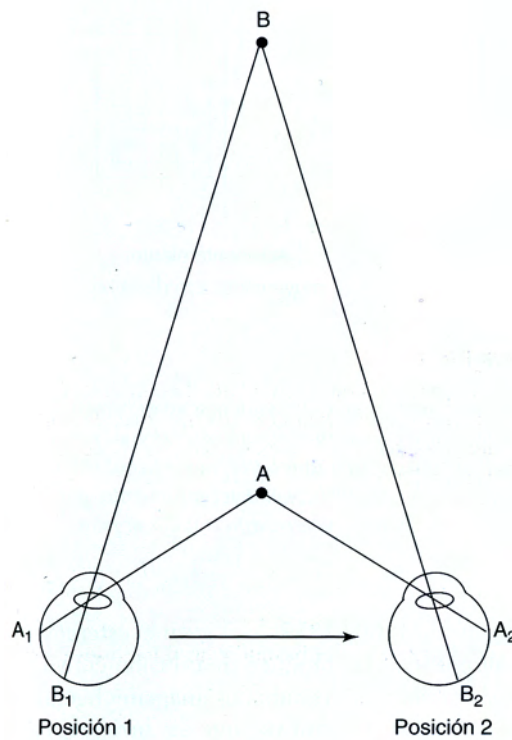


Figura 45: Al desplazarse el ojo de la posición 1 a la 2, la distancia recorrida en la retina por la proyección del objeto más cercano es mayor que la del más alejado.

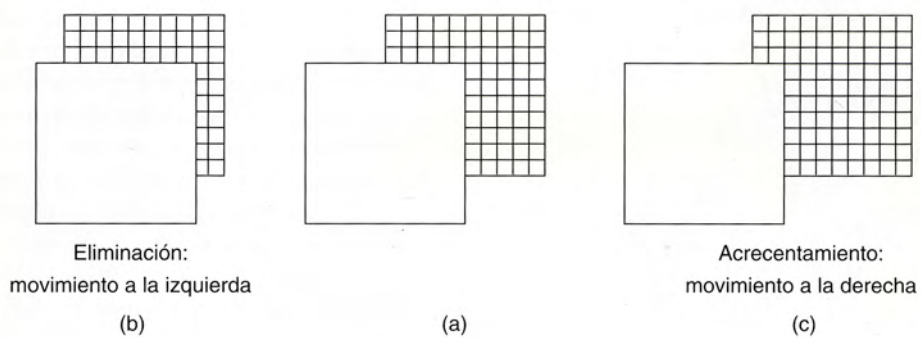


Figura 46: Cuando el ojo se mueve, se produce un movimiento relativo de las superficies solapadas, cubriéndose (eliminación) o descubriéndose (acrecentamiento) la que queda por detrás.

CLAVES BINOCULARES DE PROFUNDIDAD

Son aquellas que dependen de la visión conjunta de los dos ojos. Dentro de este grupo destacan las siguientes:

Convergencia

La convergencia es un movimiento de rotación hacia la línea media que se produce en los ojos cuando miramos a un objeto cercano. Al igual que ocurría en la acomodación, durante la convergencia ocular se producen una serie de tensiones musculares que nuestro sistema perceptivo es capaz de detectar, utilizando estas sensaciones como clave de profundidad.

Algunos estudios indican que la percepción del movimiento de convergencia podría resultar más útil para determinar las distancias que la del movimiento de acomodación.

Disparidad y estereopsia

En las personas adultas los ojos están separados a una distancia de 6 cm, lo que determina que las imágenes percibidas por uno y por otro sean ligeramente diferentes debido a que son captadas desde distinto punto de vista. Esta disparidad se ha revelado en distintos estudios como una clave importante para la percepción de profundidad espacial. Se conoce como estereopsia a la sensación de profundidad que se produce como consecuencia de la disparidad binocular.

El fenómeno de la disparidad se explica por la existencia de **puntos retinianos correspondientes**, que son aquellos que están situados en la misma posición en ambos ojos y que se encuentran conectados con la misma zona de corteza visual en el cerebro.

Con el fin de demostrar que la disparidad es una clave de profundidad independiente de otras claves que se dan simultáneamente en las imágenes procedentes del mundo real, tales como la oclusión, o la perspectiva, Julesz (1971) realizó un experimento para el cual diseñó unos patrones de puntos aleatorios ligeramente diferentes para cada ojo, en los que se podía percibir la profundidad pese a carecer de cualquier otra información diferente de la disparidad (Figura 47). Cuando los individuos observaban en condiciones adecuadas estos patrones, percibían la existencia de un pequeño cuadrado flotando sobre el fondo (Julesz 1971).



Figura 47: Patrones de puntos aleatorios de Julesz.

Diferentes estudios apoyan la existencia de neuronas detectoras de la disparidad en el córtex estriado (Barlow, Blakemore y Pettigrew 1967; Hubel y Wiesel 1970). Con el fin de comprobar que dichas células, además de responder a la disparidad, son responsables de la percepción de profundidad espacial, se han realizado estudios conductuales con gatos a los que se crió privados de visión binocular, mediante oclusión alternativa de uno y otro ojo, en los que se ha demostrado que la pérdida de estereopsia se asociaba a una disminución muy notable de las neuronas de disparidad (Blake y Hirsch 1975).

Todavía quedan puntos importantes por aclarar en el estudio de la estereopsia, tales como cuál es la forma en la que se establece la correspondencia entre ambas imágenes oculares. Existen varios modelos complejos que tratan de explicar cómo se produce dicha correspondencia, pero actualmente ninguno de ellos ofrece una respuesta definitiva (Blake y Wilson 1991; Ohzawa 1998).

2.1.5 LA PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO

La percepción de movimiento tiene una gran importancia para la supervivencia en el reino animal, por ejemplo, para la detección de posibles depredadores. Además resulta imprescindible para poder interactuar con el mundo y realizar correctamente la mayoría de las tareas de la vida cotidiana.

La sensación de movimiento que percibimos es una construcción mental que se produce como resultado de una serie de procesos complejos que tienen lugar en nuestro sistema nervioso y que implica la participación de diferentes cualidades perceptivas. La percepción de movimiento se basa con frecuencia en el manejo de heurísticos que predicen el suceso más probable en cada situación concreta. Igualmente se ve condicionada por la experiencia previa del sujeto (procesamiento arriba-abajo). Se han descrito distintas formas de movimiento percibido. A continuación se describen las principales.

MOVIMIENTO REAL

Se produce cuando un objeto se desplaza a través del campo visual. Fue el primer tipo de movimiento percibido que se analizó, comprobándose que la sensación cinética únicamente se producía cuando la velocidad de desplazamiento superaba un umbral. Además, la ubicación de líneas de referencia perpendiculares a la trayectoria

mejoraba la detección de movimiento, lo que también parece demostrar la influencia del entorno en este tipo de percepción.

MOVIMIENTO APARENTE

Se conoce también con el nombre de movimiento estroboscópico y se produce en ausencia de movimiento real del objeto. Su descubrimiento se debe a Exner, quien reprodujo esta sensación aparente de movimiento mediante la producción asincrónica de dos chispas eléctricas próximas en el espacio, dando la apariencia de una única luz que se desplazaba desde la primera posición hacia la segunda. Este fenómeno ha sido ampliamente utilizado en la industria cinematográfica, carteles luminosos, etc.

En este tipo de movimiento resulta también importante el tiempo transcurrido entre estímulos, puesto que por encima y por debajo de un determinado intervalo de tiempo la ilusión se rompe, pareciendo que las luces se encienden de manera alterna (por encima de 200 ms) o permanecen todo el tiempo iluminadas (por debajo de 30 ms). Igualmente parece influir en dicha percepción la distancia existente entre ambos estímulos.

MOVIMIENTO INDUCIDO

Tiene lugar también en ausencia de movimiento real del objeto considerado y se produce cuando el movimiento de un objeto provoca la sensación de movimiento de otro. A este fenómeno se debe la percepción de movimiento propio que sentimos cuando estamos situados dentro de un vehículo parado al ver a través de la ventanilla otro vehículo que se mueve. Este mismo efecto es el que hace que veamos a la luna moverse a través de las nubes (Montserrat 2008).

POSTEFECTO DE MOVIMIENTO

Cuando observamos durante mucho tiempo el movimiento de un objeto (un tren visto desde el andén, una cascada, etc.), una vez cesa el estímulo, percibimos un movimiento de la escena en sentido contrario.

TEORÍAS FISIOLÓGICAS SOBRE LA PERCEPCIÓN DE MOVIMIENTO

El desplazamiento de una imagen a través del campo visual provoca la estimulación progresiva de los fotorreceptores y neuronas correspondientes, aunque el proceso de detección de movimiento implica otras áreas del sistema nervioso. Así, se ha visto que el área temporal medial de la corteza cerebral parece tener un papel fundamental en la detección de movimiento. Además, se han propuesto diferentes esquemas de circuitos de neuronas para explicar la respuesta selectiva de éstas al movimiento en una dirección concreta.

Pero el cambio de posición de la imagen proyectada en la retina no explica por sí solo el proceso de detección de movimiento. Así, también percibimos esta sensación en situaciones en que la imagen retiniana de un objeto permanece fija (como sucede cuando seguimos con la mirada un objeto en movimiento). Además, cuando movemos los ojos, la imagen de los objetos del entorno se desplaza por la retina y sin embargo consideramos que estos están quietos. Se han propuesto distintas hipótesis para explicar cómo se produce la sensación de movimiento en dichas situaciones. Una de ellas es la teoría de la descarga corolaria, según la cual, una estructura denominada comparador analiza las diferencias entre la señal debida al movimiento de la imagen en la retina y la señal de descarga corolaria debida al movimiento de los músculos extraoculares, para ver si existe movimiento del objeto en

el espacio o simplemente se desplaza por el campo visual por el movimiento de los ojos.

Otra teoría propuesta para explicar la detección de movimiento independientemente de que la imagen retiniana tiene en cuenta la forma en que las cosas se mueven en relación con otras en el entorno. Esta hipótesis considera la existencia de una matriz óptica, estructura virtual formada a partir de las superficies, contornos y texturas de los elementos de la escena. Los cambios producidos en esta matriz óptica serían los que nos informasen de la aparición de movimiento. Así, por ejemplo, cuando un objeto se mueve en el entorno, los cambios locales en la matriz permiten detectar el desplazamiento (al cubrir o descubrir el objeto otros objetos que están por detrás). Asimismo, cuando únicamente se mueven los ojos del observador, los objetos se desplazan en sentido contrario en el campo visual, aunque en ese caso los percibimos quietos. Si al mismo tiempo que desplazamos los ojos, un elemento del entorno se moviera, los cambios locales en la matriz permitirían detectar su desplazamiento (Goldstein 2006).

PARTICIPACIÓN DEL MOVIMIENTO EN LA ORGANIZACIÓN PERCEPTIVA

El movimiento contribuye de forma notable a la organización de la percepción, permitiendo identificar elementos que cuando permanecían inmóviles se confundían con el entorno. Este fenómeno puede evidenciarse a través de diferentes experimentos, como la identificación de un cuerpo humano recubierto con luces en la oscuridad únicamente cuando se mueve y no cuando está parado (Johansson 1975). Otro experimento relacionado estaba basado en la proyección sobre una pantalla de un objeto tridimensional (una figura de alambre doblado), que se percibe plana con el objeto quieto y con volumen al hacerlo rotar (Wallach y O'Connell 1953).

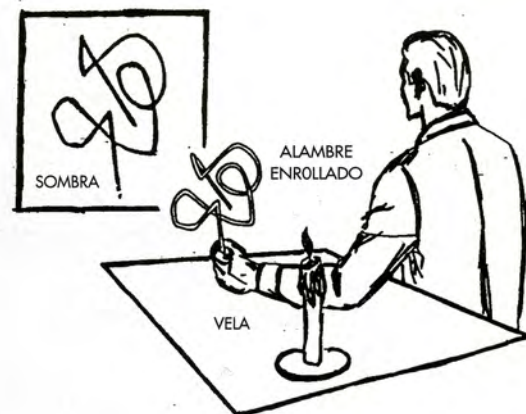


Figura 48: Esquema del experimento realizado por Wallach y O'Connell, 1953.

Finalmente, la experiencia y el conocimiento de la dinámica de una estructura concreta (por ejemplo, el cuerpo humano) permiten predecir sus posibles movimientos, condicionando la percepción de los mismos.

2.2 TEORÍAS SEMIOLÓGICAS

La semiología se ocupa del estudio de los signos, de su estructura y de las relaciones entre significante y significado. Actualmente este término se considera sinónimo de semiótica, aunque en su origen ambos términos tuvieron matices diferentes. La semiología tiene su origen en Europa a partir de la obra póstuma de Ferdinand de Saussure, profesor de gramática comparada en la Universidad de Ginebra, que se constituyó asimismo en la fuente inspiradora para la corriente estructuralista. Por su parte, Charles S. Peirce, en Estados Unidos, propuso el término semiótica como ciencia básica del funcionamiento del pensamiento, que a su vez debía englobar a las otras ciencias.

La semiótica de la imagen es una de las numerosas ramas en las que se divide la semiótica. A continuación se tratarán de forma resumida algunas de las teorías más relevantes que se han propuesto en relación con ella.

2.2.1 SEMIÓTICA DE LA IMAGEN

Una vez repasados los procesos fisiológicos involucrados en la percepción visual, a continuación se revisan las teorías semiológicas acerca de la interpretación del significado de los signos gráficos.

En primer lugar es necesario delimitar el campo de estudio de la semiótica de la imagen. Así, aunque no es posible separar completamente lo visual de lo no visual en cuanto a su significado, según Greimas y Courtés resulta práctico considerar una semiótica de lo visual como parte de una semiótica más amplia del mundo natural. Dentro del campo de estudio de la semiótica de lo visual, la semiótica planaria se ocuparía del análisis de aquellos significantes caracterizados por su bidimensionalidad. No obstante, no suelen ser objeto de estudio de la semiótica planaria los textos, puesto que no funcionan como imágenes pese a ser percibidos a través de la vista (Greimas y Courtés 1982).

ORÍGENES DE LA SEMIÓTICA DE LA IMAGEN

Una de las figuras más relevantes en los inicios de la semiótica de la imagen fue **Roland Barthes**, quien propuso un método de análisis de la misma con el fin de determinar su significado. Para ello se basó en la imagen publicitaria debido a que su significación es claramente intencional y en ella describió tres tipos de mensaje: lingüístico, connotado y denotado. El primero hace referencia al texto que de una manera u otra aparece en la mayor parte de los mensajes visuales de comunicación

de masas (rótulos, leyendas, títulos, artículos, etc.). En este sentido se pregunta además por la relación existente entre el texto y el lenguaje en las ilustraciones. El mensaje connotado es de carácter icónico y tiene un origen cultural, lo que da lugar a una lectura diferente de la imagen para cada individuo. Por último, el mensaje denotado estaría formado por aquello que queda cuando de una imagen eliminamos mentalmente todo significado icónico, es decir, todo simbolismo establecido por la cultura o la experiencia personal. Está constituido, pues, por los objetos nombrables representados. Se trata, por tanto, de un mensaje literal e ingenuo, aunque en realidad, éste sólo puede ser concebido teóricamente porque en la realidad es imposible desprender en una imagen el objeto del mensaje simbólico que conlleva (Barthes 1972).

EL ICONISMO

El iconismo es la rama del saber que se encarga del estudio de los denominados signos icónicos.

Según el Diccionario de la lengua de la Real Academia Española (en su tercera acepción), un icono es un signo que mantiene una relación de semejanza con el objeto representado; p. ej., las señales de cruce, badén o curva en las carreteras. No obstante, tanto el concepto de semejanza como las características que ésta debía tener han sido aspectos ampliamente debatidos en semiología, lo que ha generado diferentes corrientes en este campo.

A continuación se resumen algunas de las tendencias más significativas en relación con el iconismo.

Teorías acerca del iconismo

El signo icónico tiene unas características especiales que lo distinguen de otras categorías de signos. La principal diferencia reside en que el significante empleado es bidimensional, aunque también hay que considerar la apariencia de naturalidad que buena parte del repertorio de signos icónicos posee, que se debe a la relación analógica de parecido entre el signo y el objeto representado. En este sentido, las imágenes no parecen depender tanto de la convencionalidad como otros signos (por ejemplo las palabras).

Teorías basadas en la semejanza

Buena parte de las teorías acerca del iconismo se han construido en torno al concepto de semejanza y, especialmente a la definición de icono propuesta por Charles S. Peirce. Para él los signos podían clarificarse en tres grupos diferentes: índices, iconos y símbolos. Los índices o indicios están definidos por la huella o señal de un referente. Por su parte, los iconos son aquellos signos que guardan una relación de parecido con el referente. Finalmente, los símbolos tienen un origen arbitrario o convencional, como las letras del abecedario. Por tanto, según Peirce un signo es icónico cuando puede representar a un objeto en función de su semejanza con éste (Peirce 1931; Peirce 1987).

El concepto de semejanza ha sido con frecuencia sometido a debate, en primer lugar para establecer su significado concreto y, en segundo lugar para definir su papel en relación con el iconismo, que ha sido puesto en cuestión por diferentes teóricos de la imagen (Gombrich 1968; Black 1983). Sin embargo, autores como Maldonado consideran que la semejanza es un concepto útil en el que constantemente se apoya

la ciencia para sus tareas de categorización y clasificación, entre otras (Maldonado 1975).

Teorías basadas en las propiedades compartidas

Según otros autores como Charles Morris, un signo podría considerarse icónico siempre que compartiera determinadas propiedades con su referente (Morris 1985). Dependiendo de las propiedades compartidas se han establecido diferentes escalas de iconicidad, de las cuales una de las más destacadas es la de Abraham Moles, que contempla 13 niveles. En ella el valor máximo corresponde a un objeto que tuviera exactamente las mismas propiedades que el objeto representado y el menor a las descripciones del objeto mediante palabras o fórmulas de iconicidad nula (Moles 1975).

Eco critica esta postura, pues considera que no puede decirse que un signo pueda ser parcialmente icónico y propone otra fórmula, mediante la cual un signo sería icónico siempre que tuviese la capacidad de estimular una estructura perceptiva similar a la que estimularía el objeto representado por el signo (Eco 1977).

Códigos de reconocimiento y de representación icónica

En opinión de Umberto Eco, los signos icónicos funcionan como una convención social y en esto no son distintos de otras clases de signos. No obstante, el hecho de que estos sean convencionales no significa que por ello sean totalmente arbitrarios, sino que pueden haber sido codificados de forma no arbitraria. Según él, en las relaciones de semejanza que establecemos seguimos unas reglas convencionales que previamente deben ser aprendidas mediante las cuales hay una serie de características del objeto y de su representación que consideramos como prioritarias

(por ejemplo, las rayas de una cebra), frente a otras a las cuales no prestamos atención, y que determinan el resultado de nuestra comparación. Se trata de códigos de reconocimiento que indican las características pertinentes para la identificación de un icono con el objeto por él representado en una cultura dada (Eco 1977).

En cuanto a los códigos de representación icónica, Eco define el código icónico como el sistema que hace corresponder a un sistema de vehículos gráficos con las unidades pertinentes de un sistema semántico que se ha originado previamente mediante la codificación de la experiencia perceptiva.

Los códigos de representación icónica sirven para determinar los recursos gráficos que van a representar mejor los aspectos pertinentes del contenido que se han seleccionado previamente gracias a los códigos de reconocimiento (Eco 1977). Dichos elementos gráficos pueden referirse tanto a las propiedades visibles del objeto como a aquellas que no son visibles o que incluso han sido atribuidas al objeto de forma convencional (Eco 1972).

Estrategias de representación icónica

Se pueden considerar dos formas de representación icónica en términos generales, denominadas “**espejo**” y “**mapa**”. El primero incluye todas aquellas basadas en la perspectiva artificial y que ofrecen información acerca del mundo organizada en el plano de tal forma que recrea la apariencia que éste tiene cuando es percibido a través de nuestro sistema de percepción visual. En cuanto al mapa, éste posee un aspecto más esquemático y su aspecto está más próximo a las codificaciones arbitrarias. No obstante, las figuras que forman parte del mapa no pueden considerarse totalmente arbitrarias puesto que se basan en una característica perceptiva: la orientación, y por tanto están basadas en un modo de representación

natural por medio de referencias al mundo (Gombrich 1975; Palek 1986). En este sentido, Gombrich piensa que el significado de una imagen depende menos del “parecido” que de la “equivalencia”, gracias a la cual una determinada organización plástica orienta a nuestra mente en su continua búsqueda de significados. No obstante, el mismo Gombrich reconoce que una imagen realista permite al creador del signo icónico prescindir de numerosos convencionalismos (Gombrich 1987).

Revisión del concepto de iconismo

Entre las causas de la revisión a la que recientemente se ha visto sometido el concepto de iconismo, se puede citar, de una parte, la existencia de una enorme diversidad de los signos icónicos (desde una fotografía hasta una sencilla imagen esquemática) y su diferente codificación, basada en mayor o menor medida en el convencionalismo o en mecanismos perceptivos, que hacen poco viable su abordaje común. Por otra parte, el mismo concepto de signo se halla en discusión.

Ante esta situación **Umberto Eco** planteó la necesidad de una semiótica que considere adecuadamente la influencia del contexto y el carácter transitorio del contrato sígnico que determina la relación entre expresión y contenido (Eco 1977).

Greimas y Courtés, por su parte, se mostraron contrarios al concepto tradicional de iconismo y a la idea de que existe una relación de semejanza entre el signo y el objeto representado. En cambio propusieron que la iconicidad consistía en una serie de procedimientos de los que se vale el discurso para dar lugar a una determinada “ilusión de realidad”, denominados en su conjunto *recorrido generativo del sentido*. El proceso de iconización sería uno de los mecanismos empleados por este proceso para crear manifestaciones figurativas mediante la transformación de los temas en figuras, que se realiza mediante una adecuada particularización de éstas.

Según Greimas es posible contemplar una *semiótica figurativa* que estudia la interpretación “natural” del discurso de las imágenes a partir de la aplicación de una *rejilla de lectura* que actúa como código de reconocimiento de origen cultural. Dicha rejilla permite agrupar los trazos visuales que componen una imagen en formantes figurativos que adquieren así un significado como representaciones parciales de los objetos del mundo natural. Así, al aplicar estos códigos de reconocimiento, la imagen queda reformulada en series de objetos nombrables.

En la semiótica figurativa aplicada a la imagen se consideran fundamentalmente los procesos de imitación realizados por el enunciador y, por otro lado, la actividad de reconocimiento llevada a cabo por el enunciatario según el plan consignado en la imagen.

Además de la semiótica figurativa, Greimas propone considerar una semiótica plástica, al servicio de la construcción del plano de la expresión de la imagen. En segundo lugar la semiótica plástica considera que las cualidades físicas percibidas en una imagen, tales como el color, la forma, la posición espacial, hablan de algo más que de sí mismas y que es posible articular un mundo visible construido a partir de unidades que no coinciden con las del mundo natural. Dichas unidades pueden ser articuladas mediante los contrastes, que actúan como unidades sintagmáticas (Greimas y Courtés 1982).

En el momento actual, existen **tres modelos que representan a la moderna semiótica de la imagen** (Santaella y Nöth 2003). En primer lugar, los trabajos de Floch y Thürlemann, vertebrados en la semiótica de Greimas. En segundo lugar, el propuesto por el Grupo μ , cuyo *Tratado del signo visual* discute la cuestión de lo específicamente semiótico en el análisis de las imágenes (Grupo μ 1993). Por último el

modelo defendido por Fernande de Saint-Martin en su libro *Sémiologie du langage visuel* (Saint-Martin 1987).

Floch y Thürlemann consideran que en la imagen pueden distinguirse dos niveles de significación denominados icónico y plástico. En el nivel icónico la imagen se supone que representa algún objeto reconocible, mientras que al mismo tiempo, en el nivel plástico, los elementos simples de la expresión pictórica sirven para transmitir conceptos abstractos. Un aspecto controvertido del trabajo de Floch es la idea de que el significado pictórico se organiza en forma de contrastes. Estos contrastes vendrían representados por términos binarios presentes en diferentes partes de la misma imagen, tales como "continuidad" frente a "discontinuidad" o "colores oscuros" frente a "colores claros". Otras críticas que se les ha hecho es que, al igual que Greimas, recurren excesivamente a términos propios de las teorías lingüísticas de Saussure, Hjelmslev, Chomsky etc., a los que atribuyen un significado diferente. Por otra parte, otro aspecto cuestionable del abordaje que estos autores han realizado es que han dejado de lado los importantes avances en percepción visual debidos a la psicología perceptual (Sonesson 1989).

El **Grupo μ** describe un modelo de descodificación visual mediante el cual el objeto es reconocido mediante la comparación del color, textura y forma con un repertorio de tipos de objetos. El tipo es una representación mental, un modelo interiorizado y estable que se confronta con el producto de la percepción para garantizar la equivalencia entre el significante y el referente.

Al igual que la Escuela de París (también conocida como Escuela de Greimas), reconocen la diferencia entre los niveles icónico y plástico en el signo visual. Así, consideran al signo icónico como un simulacro visual del referente, obtenido mediante

transformaciones sobre él que dan lugar a un producto conforme al modelo propuesto por el tipo con el que se corresponde el referente. Estas transformaciones operan sobre alguno de los rasgos atribuidos al referente, dejando, no obstante, alguna invariante (algún rasgo del original) que asegura que el objeto seguirá siendo reconocido.

Por otra parte, el reconocimiento de un signo plástico supone que es posible considerar una semiótica más allá del iconismo y que existen signos que tienen sentido pese a no representar objetos nombrables.

Fernande Saint-Martin y sus colaboradores, conocidos también como la **Escuela de Québec** han elaborado una teoría de semiótica visual basada en los puntos de fijación de la mirada sobre la imagen, en la que tienen en cuenta diferentes variables que la dotan de significado.

UNIDADES ELEMENTALES DE SIGNIFICADO EN LA IMAGEN ESTÁTICA AISLADA

Una cuestión fundamental para comprender cómo se generan los significados a partir de las imágenes es identificar sus unidades elementales portadoras de sentido. Esto resulta de gran importancia para los ilustradores científicos pues dichos elementos van a constituir el material básico de trabajo para la representación de conceptos por medio de imágenes.

Los elementos morfológicos de la imagen son las unidades básicas de significado de la imagen estática aislada, las cuales se van a combinar para dar lugar mediante una adecuada selección, disposición y relación de los mismos, a un significado concreto.

Este es uno de los aspectos que mayor dificultad presenta en el análisis de la imagen. Con frecuencia estas unidades han sido equiparadas a los signos icónicos y a menudo identificadas con determinados elementos constitutivos del significante, como el punto, la línea o el color.

Clasificaciones

Existen diversas teorías y clasificaciones relativas a los elementos básicos que constituyen la imagen estática aislada. A continuación se resumen algunas de las más relevantes.

En primer lugar, **Kandinski** realizó uno de los primeros análisis de los elementos básicos de la imagen en su libro *Punto y línea sobre el plano*. Frente a la tendencia predominante en aquél momento de evitar el análisis de la obra y su descomposición en elementos básicos, pues se pensaba que esto traería consigo la muerte del arte, Kandinsky creía necesario analizar los medios de los cuales se valía la pintura, así como sus objetivos. Para él, los elementos básicos se habían visto subordinados en pintura a condicionantes prácticos derivados de la figuración. En tanto que servían a dichos fines, perdían su independencia y no podían expresar su propio potencial. La abstracción, al desligarse de las limitaciones impuestas por la representación de la naturaleza, liberaba a estos elementos básicos de su servidumbre y permitía que adquieran valor por sí mismos.

Kandinsky considera la existencia de unos **elementos artísticos** que constituyen el material de construcción de una obra concreta y que son diferentes para cada género.

Kandinsky ve la necesidad de realizar un trabajo sistemático de descripción para crear un **diccionario de los elementos gráficos** y posteriormente una gramática a partir de la cual pueda enunciarse una teoría de la composición de carácter global para todas las artes. Así, comienza su descripción de dichos elementos empezando por el **punto**, al que considera el elemento pictórico primario. Posteriormente analizará la **línea**, que en opinión del autor debe ser considerada como un elemento derivado del punto y, por tanto, de carácter secundario. Finalmente el **plano básico** sería aquella superficie material destinada a recibir el contenido de la obra. Aparte de este plano básico, que constituye el tercer apartado del libro, Kandinsky establece dos mecanismos básicos por los que una línea puede configurar un plano. Por un lado, la condensación de líneas muy próximas entre sí, como cuando una línea gira alrededor de un punto para dar lugar a un plano circular, puede dar lugar a un plano circular. Por otro lado, las líneas curvas y las rectas quebradas, cuando consiguen aproximar sus extremos y se cierran por completo dan lugar a formas planas, siendo el círculo y el triángulo las dos más básicas que pueden formar respectivamente una y otra (Kandinsky 1984).

Donis A. Dondis, en su tratado *Sintaxis de la imagen. Introducción al alfabeto visual* propone una clasificación diferente para los elementos básicos de la imagen, en la que incluye nuevos componentes. Así, establece que los componentes fundamentales de la comunicación visual son los siguientes: **punto, línea, contorno, dirección, tono, color, textura, escala, movimiento y dimensión** (Dondis 1976).

Por su parte, **Justo Villafañe y Norberto Mínguez** realizan una estructuración algo más compleja de los elementos de la imagen. Estos autores

consideran que el alfabeto visual está constituido por tres tipos diferentes de elementos:

- **Elementos morfológicos:** punto, línea, plano, textura, color y forma.
- **Elementos dinámicos:** tensión y ritmo.
- **Elementos escalares:** dimensión formato, escala y proporción.

En primer lugar, los elementos morfológicos serían aquellos que poseen una presencia material y tangible en la imagen, generando el espacio del cuadro. Constituyen, por tanto, la estructura icónica espacial en la que se basa el espacio plástico.

En segundo lugar, los elementos dinámicos tienen una naturaleza inmaterial e intangible y precisan de los elementos morfológicos para poder existir y cumplir su misión. La naturaleza dinámica de la imagen está íntimamente asociada al concepto de temporalidad. Los elementos dinámicos forman por combinación la estructura icónica temporal de la imagen.

En tercer y último lugar, los elementos escalares constituyen la estructura icónica de relación de la imagen, que combina los elementos morfológicos con los dinámicos con el fin de que surja la significación (Villafañe y Mínguez 2006).

También resulta interesante la clasificación de los elementos de la plástica que, desde un punto de vista práctico, realizó el artista y teórico de la imagen **Wucius Wong** en su libro Fundamentos del diseño. En ella, consideraba cuatro categorías diferentes: **elementos conceptuales** (punto, línea, plano); **elementos visuales** (forma, medida, color, textura); **elementos de relación** (dirección,

posición, espacio, gravedad); **elementos prácticos** (representación, significado, función), distinguiendo claramente entre aquellos que podemos percibir a través del sentido de la vista de aquellos que no.

Los elementos conceptuales descritos por Wong, no son visibles, aunque en ocasiones lo aparentan. De este modo creemos ver un punto en el vértice formado por dos líneas o una línea de contorno alrededor de un objeto. Los elementos visuales son las formas que vemos. Cuando un elemento conceptual como la línea se representa gráficamente y adquiere forma, dimensión, color y textura, entonces se convierte en un elemento visual. Los elementos de relación organizan los elementos visuales de un diseño. Algunos son perceptibles como la posición o la orientación y otros sólo intuitivos, como el espacio y la gravedad. Finalmente los elementos prácticos reflejan el componente semántico y funcional del diseño (Wong 2007).

Rudolf Arnheim, en su análisis de los mecanismos de percepción visual distingue una serie de **categorías visuales** involucradas en dicho proceso: el equilibrio, la forma, la forma como estructura, el desarrollo, el espacio, la luz, el color, el movimiento, la dinámica y la expresión (Arnheim 2001).

Por otra parte, la búsqueda de las unidades de significado de la imagen ha sido un asunto de interés constante en la semiología. Las últimas corrientes abordan este tema desde perspectivas algo diferentes.

Según la **Escuela de París**, es posible considerar dentro de la semiótica plástica unas categorías de la expresión constitucionales (cromáticas y eidéticas), que se corresponden con los colores y las formas de un cuadro y otras no constitucionales o topológicas (tales como la posición y la orientación). Dentro de las cromáticas,

consideran un grupo de categorías no graduables (cromaticidad) y otro de categorías graduables (luminosidad, saturación y una subcategoría categoría acromática). Las categorías eidéticas incluyen aquellas que definen la forma, tales como el contorno (Greimas y Courtés 1982).

Por su parte, el **Grupo μ** , considera, como ya se ha comentado, la existencia de signos icónicos y signos plásticos, proponiendo para los últimos una serie de familias constituidas por los colores, las formas y las texturas. Para cada una de estas familias de signos definieron unos parámetros o *significantes*, a los que denominaron respectivamente *cromemas (dominancia, saturación y brillantez)*, *formemas (posición, dimensión y orientación)* y *texturemas (elementos y repetición)* (Grupo μ 1993).

Finalmente, **Fernande Saint-Martin y sus colaboradores**, conocidos también como la **Escuela de Québec** han elaborado una teoría semiótica visual, según la cual las unidades mínimas de la imagen son los denominados coloremás, pequeñas áreas que pueden considerarse en cada uno de los puntos en los que se fija la mirada durante la exploración visual y que se corresponden con las zonas de máxima visión de la retina. El significado visual a partir de dichas unidades se puede analizar a partir de 6 variables: color/tonalidad, textura, dimensión/cantidad, situación en el plano, orientación/vectorialidad y fronteras/contornos.

Descripción de las unidades más frecuentemente consideradas

El punto

Muchos de los autores que han analizado los elementos básicos de la imagen estática aislada han considerado al punto como la más pequeña de las unidades elementales de las representaciones gráficas.

En este sentido, Kandisky, considera al punto el elemento pictórico primario que se produce como consecuencia del choque de la herramienta gráfica con el soporte o base. De este modo, más allá de la consideración del punto como un ente geométrico invisible y abstracto o de su significado en el lenguaje cotidiano como silencio o interrupción, el punto en la pintura se vuelve material, adquiriendo necesariamente un tamaño y una figura determinada (Kandinsky 1984).



Figura 49: Aunque exteriormente el punto puede ser considerado como la más pequeña forma elemental, éste es un concepto relativo que depende de la relación de tamaños entre el punto y otras formas en el plano. Así, cuando se dibuja una línea fina cerca de un punto de mayor grosor, éste puede pasar a ser considerado como plano



Figura 50: Pese a que el punto podría ser considerado idealmente como pequeño y redondeado, para Kandisky éste puede adoptar infinitas figuras.

Características del punto

Al punto se le atribuyen una serie de propiedades que lo caracterizan como elemento de la imagen estática aislada. En primer lugar, posee un pequeño tamaño relativo en comparación con otros elementos de la imagen, ya que cuando no es así pasa a considerarse como plano (Figura 49). En segundo lugar, el punto posee tendencia a la redondez, aunque puede adoptar cualquier figura, preferiblemente sencilla (Figura 50). Finalmente, suelen reconocérsele las cualidades de toda forma visible, tales como el color, la textura o la figura (Dondis 1976; Kandinsky 1984; Aparici, García y Valdivia 2002; Villafañe y Mínguez 2006; Wong 2007).

Funciones plásticas del punto

Del mismo modo, diferentes autores han definido las funciones que puede realizar el punto en una composición. Así, éste se ha considerado tradicionalmente como un agente dinamizador de una composición (aunque en menor medida que la línea), pues dependiendo de su posición y relación con otros elementos de la imagen

es capaz de producir tensiones (Figura 51 y Figura 52) (Arnheim 2001; Aparici *et al.* 2002; Villafañe y Mínguez 2006).

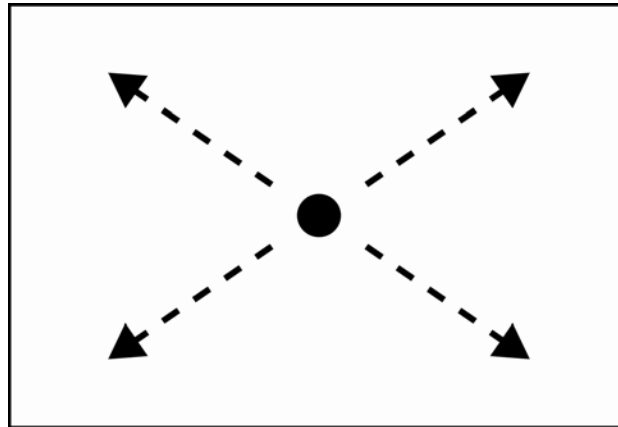


Figura 51: Según Arnheim, Cuando consideramos un punto aislado se producen una serie de tensiones entre éste y los límites del encuadre, que van a depender de la ubicación de dicho punto.

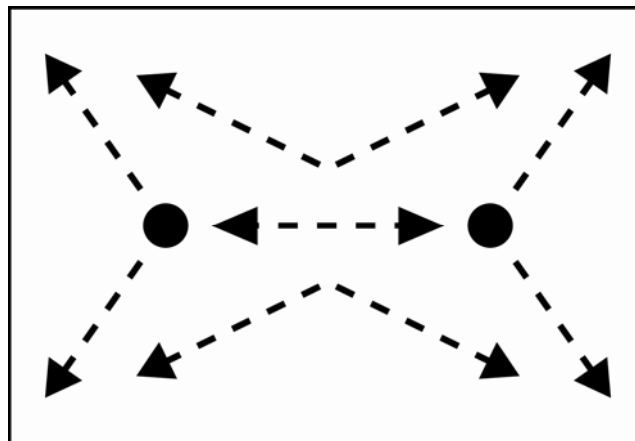


Figura 52: Si se sitúan varios puntos dentro del encuadre, además, estos ejercerán fuerzas recíprocas entre sí, además de las que se producen entre estos y los límites de la superficie de representación.

Por otra parte, el punto posee el poder de atraer la vista y ejercer el papel de referencia espacial. Además, cuando se agrupa formando series, es también capaz de

guiar la mirada (Figura 53). Así, el observador tiende a unir los puntos mentalmente con una línea invisible, creando figuras mediante líneas de contorno imaginarias (Dondis 1976; Wong 2007). En relación con esta capacidad, el punto se constituye como elemento configurador de líneas y planos cuando se utilizan en gran cantidad y muy próximos unos a otros. (Figura 54) (Malins 1983; Arnheim 2001; Aparici *et al.* 2002).



Figura 53: los puntos también contribuyen a guiar la mirada por la superficie de representación, generando sensaciones rítmicas y de movimiento.

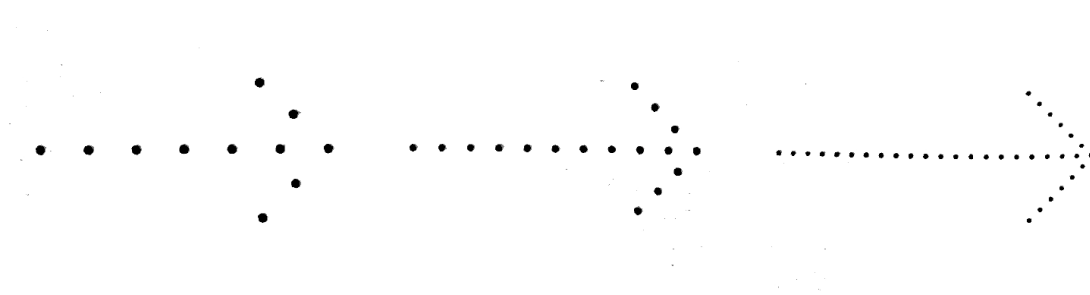


Figura 54: Los puntos dispuestos en serie pueden dar la sensación de formar figuras. Este fenómeno es más llamativo cuanto más próximos estén los puntos entre sí.

Otra de las funciones frecuentemente atribuidas al punto es la de originar texturas por aglomeración de los mismos (Wong 2007). En determinados medios, técnicas y soportes gráficos el punto es el elemento que conforma toda la imagen, como ocurre, por ejemplo, en una impresión de cuatricromía o en un cuadro puntillista (Aparici *et al.* 2002). En estos últimos ejemplos, el punto actúa además como agente configurador del color de la imagen, representándolo mediante la mezcla óptica (Dondis 1976).

La línea

Kandinsky considera a la línea como otro recurso pictórico básico, frente a otros contemporáneos suyos que únicamente la veían como un elemento admisible en la obra gráfica, aunque nunca en la pintura.

Características de la línea

Entre las diferentes cualidades que son habitualmente atribuidas a la línea, quizás la más destacable es su delgadez. Así, una forma se considera una línea cuando ésta posee un ancho extremadamente estrecho o cuando su longitud es prominente (Wong 2007; Aparici y García 2008).

En general, es considerada un elemento de mucho mayor dinamismo que el punto, ya que mientras éste únicamente es capaz de generar tensión, la línea combina tensión y dirección. No obstante, algunos tipos de línea poseen unas cualidades dinámicas más acentuadas que otras, como por ejemplo las curvas en relación con las rectas (Figura 56) (Dondis 1976; Kandinsky 1984).

Al igual que los puntos, las líneas pueden tener una existencia real o virtual. Cuando éstas son representadas gráficamente, se convierten en formas visibles, y entonces es posible considerar en ellas una figura, un tamaño, un color y una textura (Kandinsky 1984). En este sentido, Wucius Wong define varias características para la línea: la forma total, el cuerpo y las extremidades. La forma total hace alusión a su apariencia global, permite definir a una línea como recta curva, quebrada, irregular, trazada a mano, etc. El cuerpo de la línea es aquella parte de la misma comprendida entre sus bordes. Estos pueden ser lisos y paralelos, aunque frecuentemente convergen y divergen sucesivamente, modulando la línea y dando lugar a que el cuerpo de la línea se muestre afilado, irregular, vacilante, etc. Las extremidades de la línea adquieren importancia cuando las líneas son anchas, pudiendo adoptar entonces diferentes formas: cuadradas, redondeadas, puntiagudas, etc. (Wong 2007).

Diferentes autores consideran que la línea puede ser definida mediante un punto en movimiento o bien por una sucesión de puntos tan próximos entre sí que no pueden distinguirse los unos de los otros (Dondis 1976; Kandinsky 1984; Aparici *et al.* 2002).

Debido a su aspecto variable, la línea ofrece una especial dificultad para su clasificación. No obstante, diversos autores han tratado de sistematizar este recurso.

Kandinsky elaboró una clasificación con los diferentes tipos de líneas: rectas, curvas y quebradas. La recta y la curva son líneas antagónicas, mientras que la quebrada es considerada por este autor como un ente intermedio entre las anteriores.

En cuanto a las líneas rectas, en función de su dirección, Kandinsky determinó que los tres tipos puros de rectas son la horizontal, la vertical y la diagonal, a cada una

de las cuales hace corresponder un valor de temperatura. El cuarto tipo es la recta libre, que no se corresponde en dirección con ninguna de las otras tres.

Las líneas quebradas pueden ser simples, es decir, formadas por dos segmentos, o pueden ser complejas o poligonales cuando están formadas por más de dos. El caso más sencillo de línea poligonal es aquella que está formada por segmentos de igual longitud unidos en ángulo recto. Las variaciones más complejas estarían formadas por segmentos o ángulos desiguales.

Finalmente, las líneas curvas pueden ser simples o complicadas. Kandinsky describe dos tipos de línea complicada: la línea geoméricamente ondulada (con arcos regulares con alternancia uniforme) y la línea libremente ondulada (con arcos irregulares o alternancia variable) (Kandinsky 1984).

Villafañe y Mínguez también proponen una clasificación taxonómica de los diferentes tipos de línea (Figura 55).

Según estos autores, las líneas implícitas son aquellas que poseen un carácter intangible y no han sido materialmente trazadas. Un ejemplo de ellas son las líneas formadas por la intersección de dos planos, las que forman los límites del marco de la imagen y las líneas de asociación, que unen virtualmente elementos como consecuencia de su agrupamiento direccional.

Las líneas aisladas pueden ser rectas o curvas y tienen un efecto dinamizador sobre la superficie del cuadro.

Líneas implícitas	<ul style="list-style-type: none"> Por intersección de planos Líneas geométricas del marco Líneas de asociación 	
Líneas aisladas	<ul style="list-style-type: none"> Línea recta Línea curva 	<ul style="list-style-type: none"> Vertical Horizontal Oblicua Quebrada
Haces de líneas	<ul style="list-style-type: none"> Líneas rectas entrecruzadas Líneas rectas convergentes Estructuras de fugas 	
Línea objetual		
Línea figural	<ul style="list-style-type: none"> Línea contorno Línea recorte 	

Figura 55: Clasificación taxonómica de los diferentes tipos de línea según Villafañe y Mínguez.

En los haces de líneas, éstas pierden su independencia para formar parte de una nueva configuración. Dentro de ellas, consideran en primer lugar las tramas de líneas entrecruzadas cuya función es sombrear y dar volumen a los objetos. Por otra parte, las líneas rectas convergentes pueden generar sensación de profundidad. Finalmente, en las estructuras de fugas, como aquellas representadas en el dibujo técnico, las líneas se encuentran incorporadas a los objetos representados en perspectiva.

La línea objetual es, para Villafañe y Mínguez, aquella que es percibida como un objeto unidimensional, siendo un ejemplo típico de ella el pictograma.

Por último, la línea figural describe la forma de un objeto concreto. En caso de rodear a un objeto representado con volumen se denomina línea de contorno y, en caso contrario, línea de recorte.(Villafañe y Mínguez 2006)

Dondis también considera diferentes tipos de líneas, pudiendo éstas adoptar multitud de formas: recta u ondulada, regular o irregular, delicada o burda, vacilante o decidida, etc. (Dondis 1976).

Funciones plásticas de la línea

De las diversas funciones plásticas han sido señaladas en relación con la línea, quizás la más significativa es la de crear vectores de dirección, fundamentales para organizar la composición y para codificar el sentido de lectura de la imagen. Así, la línea cumple una función orientadora o de **guía de la mirada**, y, en este sentido, aporta una mayor sensación de **direccionalidad** que la que genera una sucesión de puntos. Al mismo tiempo es capaz de generar una intensa sensación de **dinamismo**, como ya se ha comentado (Figura 56).

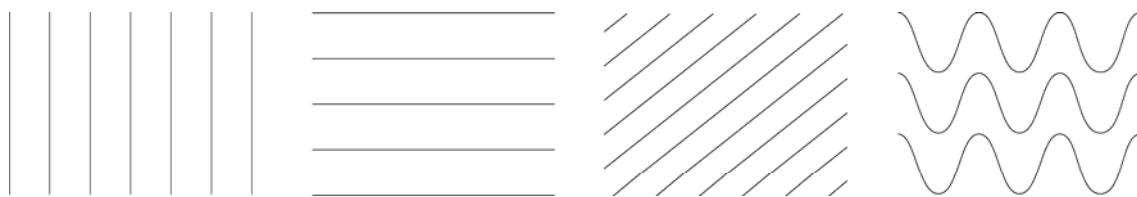


Figura 56: El dinamismo de una imagen también depende en buena medida de las características de las líneas que la componen. Así, las líneas rectas horizontales y verticales sugieren más calma que las oblicuas o las líneas curvas.

Por otra parte, la línea puede **representar la forma** de un objeto utilizada para trazar su contorno, siendo ésta una cualidad fundamental que la convierte en el

instrumento fundamental para la previsualización de aquello que existe únicamente en la imaginación (Kandinsky 1984; Aparici *et al.* 2002; Villafañe y Mínguez 2006).

Otra manera de representar formas planas mediante líneas consiste en situarlas muy próximas unas a otras. Así, la agrupación de líneas con alta densidad y regularidad puede sugerir la existencia de una forma plana y también puede dar lugar a la textura de dicho plano (Kandinsky 1984; Wong 2007).

Es un elemento capaz de aportar **profundidad** a la composición mediante la representación de objetos alargados en posición oblicua o gracias al uso de líneas convergentes. Además, las tramas de líneas entrecruzadas pueden generar la sensación de volumen al dar lugar a diferentes tonos (Villafañe y Mínguez 2006).

Por otra parte, también ayuda a **organizar el espacio plano** al separar unas formas de otras.

Otra importante función atribuida a la línea es la de **generar texturas** (Wong 2007).

Al mismo tiempo, la línea puede **expresar distintos estados de ánimo** a través de las múltiples formas que puede adoptar. Así, las líneas temblorosas pueden reflejar una duda o titubeo y las líneas que aparecen en un manuscrito reflejan la personalidad del autor (Dondis 1976).

Roberto Aparici *et al.*, por otra parte, resaltan el papel destacado del **grosor de la línea como elemento expresivo**. Así, por ejemplo, el ilustrador puede jugar con este parámetro para crear un contraste formal entre diferentes figuras, que a su vez puede sugerir diferencias semánticas entre ambos objetos. Además, es posible **transmitir emociones o sensación de movimiento** mediante líneas. Esto último es

más visible en el cómic, donde es frecuente ver líneas de trayectoria y elementos gráficos lineales representan la alegría, tristeza, ira, etc. (Aparici *et al.* 2002).

El plano (también forma o contorno según los diferentes autores)

Igual que para el punto y la línea, se han considerado una serie de características que definen el plano. En primer lugar, se trata de un elemento morfológico bidimensional, definido por su forma, color y textura, los que le otorgan su apariencia particular así como su significación plástica (Villafañe y Mínguez 2006). A estas cualidades, puede añadirse el tamaño (Wong 2007).

Una cuestión interesante es la difícil definición del límite entre el plano y otros elementos básicos como el punto y el plano (Kandinsky 1984). Tanto es así, que se ha llegado a definir como toda forma que no es reconocida como punto o como línea (Wong 2007).

El plano puede ser engendrado, como se ha comentado anteriormente, a partir de puntos o líneas condensados. Al mismo tiempo, la línea puede describir la forma de las cosas al sugerir el contorno de éstas en el espacio bidimensional, indicando de esta forma el límite entre la superficie que comprenden en el plano y la superficie restante (Sanz 1996).

Los dos tipos de planos primarios considerados por Kandinsky son el triángulo y el círculo. El primero surge a partir de la línea recta, mientras que el segundo lo hace a partir de una curva.

Wucius Wong realiza una clasificación más compleja de las formas planas en función de la figura en los siguientes tipos:

- Geométricas: aquellas que son construidas matemáticamente.
- Orgánicas: cuyos bordes están formados por curvas libres y de aspecto fluido.
- Rectilíneas: limitadas por líneas rectas no relacionadas matemáticamente.
- Irregulares: limitadas por líneas curvas y rectas no relacionadas matemáticamente.
- Manuscritas: de aspecto caligráfico o creadas a mano alzada.
- Accidentales: obtenidas accidentalmente o mediante procesos o materiales especiales.

Dondis, al describir los elementos básicos de la comunicación visual, habla de contorno en lugar de planos. Estos contornos son descritos por una línea. Según esta autora existen tres contornos básicos: el cuadrado, el círculo y el triángulo equilátero. Dichos contornos se pueden combinar para dar lugar a las infinitas formas de la naturaleza (Dondis 1976).

Funciones plásticas del plano o forma

Las principales funciones consideradas para los planos o formas son la de actuar como portadores de significados, la de sugerir volumen y la de organizar el espacio del cuadro.

Existen diferentes mecanismos por los que un significado es atribuido a una forma. Éste puede haber sido asignado a la forma por medio de asociaciones o bien de forma arbitraria o como producto de nuestras percepciones psicológicas o fisiológicas (Dondis 1976; Aparici *et al.* 2002).

Diferentes autores han destacado la importancia del plano o forma en la organización del espacio de las imágenes bidimensionales. Así, Villafañe y Mínguez consideran que el plano es un recurso idóneo para compartimentar y fragmentar el espacio plástico de la imagen, generando sensación de profundidad (Villafañe y Mínguez 2006).

En relación con la forma como elemento generador de volumen, Wucius Wong explica que la forma como volumen es completamente ilusoria. Según las características de las formas que intervienen en un diseño y las relaciones que mantienen entre sí, éstas pueden generar un espacio liso o un espacio ilusorio. El espacio es liso cuando todas las formas parecen reposar sobre el plano de la imagen y se sitúan en paralelo con él. En caso contrario, el espacio es considerado ilusorio. En este último, algunas formas parecen situarse por delante y otras por detrás. Del mismo modo, pueden existir formas paralelas al plano de la imagen junto a otras que aparentan ser oblicuas. Incluso algunas formas pueden tener características que sugieran su propia tridimensionalidad (Figura 58 y Figura 60) (Wong 2007).

El color

El color es una de las cualidades de una composición mejor estudiadas, tanto por los ópticos y físicos como por los teóricos de la imagen. Su análisis en profundidad excede los objetivos de esta tesis, por lo que nos centraremos principalmente en sus funciones plásticas.

Funciones plásticas del color

Este es un aspecto de difícil descripción debido a la enorme cantidad de usos que se hace del color y a la inconstancia de sus propiedades.

En primer lugar, el color **contribuye al reconocimiento de los objetos** representados mediante asociación establecida por la experiencia. No obstante, en este sentido, su importancia es algo menor que la de la figura al ser el color más variable. En este sentido, Aparici et al. opinan que una de las funciones más destacadas del color en la imagen es la de acercarnos a la realidad, ya que éste es una de las propiedades presentes en los objetos y seres que vemos. Puede afirmarse entonces que el color dota a la imagen de un carácter realista y documental. Por el contrario, las imágenes en blanco y negro (o en escala de grises) adquieren una cierta estilización o alejamiento del natural. En ocasiones se han utilizado las imágenes en blanco y negro para reforzar la sensación de ficción o para lograr un aspecto misterioso.

Además, el color contribuye a asignar un determinado **valor simbólico** a las imágenes, que están admitidos de forma convencional, lo que modifica y amplía su significado (Dondis 1976; Aparici et al. 2002).

Por otra parte, el color también **contribuye a la creación del espacio plástico**. Así, se han propuesto dos opciones en el uso del color que originan dos construcciones diferentes del espacio. Por un lado, la *perspectiva valorista*, basada en un gradiente de intensidad luminosa, produce la sensación de profundidad mediante el uso del claroscuro. Por otra parte, la *perspectiva cromática* crea un espacio plástico de carácter más plano (Berger 1976).

Además, el color puede contribuir a la articulación del espacio en diferentes términos. Esto es especialmente importante en las composiciones carentes de perspectiva, en las que son los distintos planos de color los que dividen la superficie de la imagen y generan un nuevo espacio en el que pueden establecerse relaciones plásticas entre los diferentes elementos.

En cuanto a las **propiedades dinámicas**, el color según Villafaña y Mínguez es el elemento idóneo para crear ritmos en una composición. Además es una potente herramienta para generar contrastes.

Finalmente, se ha atribuido al color una serie de **cualidades sinestésicas**. Kandinsky habla de dos antinomias por las que un color puede ser definido. Por un lado, en virtud de la propiedad térmica los colores pueden ser considerados cálidos o fríos según su proximidad al amarillo o al azul respectivamente. En cada caso, las sensaciones producidas serán diferentes. Así, los colores cálidos parecen acercar la imagen al espectador, mientras que los fríos se alejan, generándose una sensación dinámica. Al mismo tiempo, los colores cálidos originan un efecto expansivo y centrífugo, mientras que los fríos parecen comprimirse, produciendo un efecto centrípeto. La segunda antinomia descrita por Kandinsky hace referencia a la tendencia de un color al blanco o al negro (claro/oscuro), que produce una multiplicación de la propiedad térmica. De este modo, cuanto más claro es un color cálido, mayor sensación de acercamiento produce, y cuanto más oscuro es un color frío mayor será la sensación de alejamiento (Kandinsky 2006).

La textura

Diferentes autores consideran la textura como una cualidad de la imagen cuya percepción puede involucrar de forma separada o conjunta a dos sentidos diferentes:

la visión y el tacto. Dondis opina que algunas imágenes tienen una textura puramente visual, careciendo entonces de cualidades táctiles. Sin embargo, cuando coexisten ambos tipos de textura, lo hacen de forma independiente, pudiendo ser percibidas por separado por la mano o mediante la vista. No obstante, existe habitualmente una fuerte asociación entre ambos estímulos, permitiendo atribuir determinadas cualidades táctiles a un objeto sin necesidad de tocarlo y cualidades ópticas a una textura explorada únicamente por la mano (Dondis 1976).

En relación con esta cuestión, Villafañe y Mínguez opinan que la experiencia primigenia por la que conceptualizamos más fácilmente una textura es táctil. No obstante, afirma que cualquier textura puede representarse gráficamente. Contrariamente a lo manifestado por Dondis, opina que el hecho de que una superficie sea lisa no significa que no tenga textura. De hecho, según estos autores la mayoría de las superficies tienen un acabado pulido (Villafañe y Mínguez 2006).

Wucius Wong distingue también una textura visual, que tiene carácter bidimensional y únicamente es sugerida por la vista, aunque evoca sensaciones táctiles y, por otra parte, una textura táctil, que existe realmente y que podemos tocar y también ver. Por otra parte, Wong explica que la textura puede ser lisa o decorada, suave o rugosa, brillante o mate, etc. Esta textura depende tanto del medio utilizado como del soporte.

Dentro de la textura visual Wong establece tres subtipos diferentes. En primer lugar, la textura decorativa sería aquella que tiene carácter ornamental y que puede ser, por tanto, eliminada sin afectar a la esencia de la figura. En segundo lugar, la textura espontánea surge como consecuencia del proceso creativo y no puede ser separada porque las marcas de la textura son al mismo tiempo las figuras. Este tipo de

textura es frecuente en las formas creadas a mano y en las accidentales. Finalmente, la textura mecánica sería aquella que se debe al empleo de medios mecánicos de producción gráfica tales como el granulado de la fotografía analógica, la retícula de una imagen impresa o los píxeles de una imagen digital (Wong 2007).

Funciones plásticas de la textura

Una de las principales funciones de la textura es contribuir a la codificación del espacio de la imagen. Así, es posible generar una intensa sensación de profundidad mediante la creación de un gradiente de textura, ya que cuando ésta es más fina se percibe como más lejana (Figura 57). Además, la textura ayuda a entender el volumen de los objetos y otorga un mayor peso visual a los mismos (Villafañe y Mínguez 2006; Wong 2007).

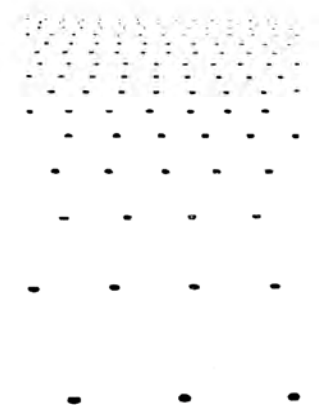


Figura 57: Sensación de profundidad mediante un gradiente de textura (Tomado de Villafañe y Mínguez, 2006)

Otra de las funciones plásticas descritas para la textura es la de sugerir cuál es la composición o naturaleza de los objetos representados (Wong 2007). No obstante, Dondis indica que con frecuencia la textura visual engaña a los sentidos, haciendo

creer al observador que la textura táctil del objeto posee unas características diferentes a las que realmente tiene (Dondis 1976; Munari 1985).

El tamaño

Una de las unidades de la imagen estática que con relativa frecuencia son consideradas es el tamaño. El tamaño en una imagen, aunque pueda ser objetivado, es relativo pues el valor dimensional otorgado a una forma en la composición depende de la proporción de tamaños entre ésta y el resto de formas que la acompañan, así como con la superficie total de la imagen.

Funciones plásticas del tamaño

En primer lugar, el tamaño juega un papel decisivo en la sensación de profundidad, ya que los objetos pequeños son percibidos como más lejanos. Esto se debe al fenómeno de la constancia de tamaño, merced al cual cuando vemos dos objetos iguales a diferente distancia no juzgamos que uno es más pequeño que el otro sino que está más lejos. Así, los gradientes de tamaño son probablemente el recurso plástico más simple para crear profundidad en imágenes bidimensionales.

En segundo lugar, el tamaño puede ejercer una función jerarquizadora, ya que cuanto mayor sea la dimensión de una forma en la imagen, tanto mayor será el peso visual y la importancia que ésta tenga (Villafañe y Mínguez 2006).

La posición

La posición hace referencia a la ubicación de una forma en el área ocupada por la composición, pero también tiene que ver con la disposición relativa de unas formas con otras.

Funciones plásticas de la posición

Ya se comentó a propósito del punto, su capacidad para generar tensiones. Pero ésta no es una cualidad exclusiva de él, sino que cualquier forma se interrelaciona con las que la rodean en una composición, generando una serie de fuerzas visuales de atracción y repulsión que determinan el equilibrio de la misma (Arnheim 2001).

Por otra parte, mediante la disposición de elementos en diferentes posiciones del plano, es posible crear determinados ritmos compositivos que relacionan visualmente unos con otros (Wong 2007).

La orientación

Otra de las unidades frecuentemente consideradas en la imagen estática aislada es la orientación. Ésta se define por la disposición angular de una forma en relación con un eje de referencia, que habitualmente se corresponde con la vertical del marco de la imagen.

Funciones plásticas de la orientación

Posiblemente la función principal de la orientación de las formas en una composición sea la de contribuir al equilibrio de la misma. Mediante cambios de orientación es posible modificar la sensación de estabilidad de una forma y también compensar o descompensar unas direcciones con otras para dotar a la imagen de unas determinadas cualidades dinámicas.

La orientación puede ser empleada también para crear ritmos compositivos a partir de variaciones graduales de la misma (Wong 2007).

Tono o iluminación

Algunos autores como Dondis y Aparici et al. consideran el tono, la luz o la iluminación como elementos básicos de la imagen, resaltando su carácter esencial para la visualización del resto de elementos plásticos. Por otra parte, otorgan al tono una existencia independiente del color, responsable, entre otras cosas, de la naturalidad con la que aceptamos las imágenes monocromáticas pese a que suponen un gran artificio si tenemos en cuenta que la visión del mundo que nos rodea es a pleno color (Dondis 1976) (Aparici et al. 2002).

Mientras que en el dibujo, el grabado o la pintura, se utiliza el término *tono* para hacer alusión a los distintos niveles de intensidad lumínica representados, en la fotografía, en la televisión o en el cine suele hablarse de *iluminación*. Igualmente en el mundo del cómic es frecuente utilizar este último término debido a la influencia del cine en esta disciplina (Aparici et al. 2002).

Dondis resalta que mientras en la naturaleza se pueden diferenciar cientos de grados tonales distintos, en las artes gráficas y en la fotografía esos grados están muy

restringidos y habitualmente sólo se utilizan unas pocas decenas de valores tonales diferentes.

Funciones plásticas del tono o la luz

Tanto en la fotografía como en el dibujo o la pintura, por ejemplo, los tonos de la imagen pueden ser manipulados para crear diferentes efectos. Así, se puede restringir la escala tonal dentro de unos límites concretos para provocar distintas sensaciones en el observador. De este modo, cuando los tonos predominantes en la imagen son los más cercanos al blanco, se habla de clave alta. Este tipo de iluminación se utiliza para una sensación de carácter optimista y vital. En cambio, las imágenes de clave tonal baja, en las que predominan los tonos oscuros, adquieren un carácter sombrío y lúgubre. Finalmente, en la clave intermedia predominan los tonos medios, teniendo un carácter neutro (Aparici *et al.* 2002).

Otro aspecto importante en relación con la iluminación es su carácter puntual o difuso. En el primer caso, las fuentes de luz directa, tales como el sol, los flashes o las bombillas, otorgan a las imágenes un aspecto duro y contrastado, con sombras pronunciadas, perfiles marcados y texturas muy manifiestas. Este tratamiento es el empleado en la técnica del claroscuro, que tan amplia difusión ha tenido en las artes plásticas en los distintos medios de representación. Por el contrario, la luz difusa se obtiene habitualmente a partir de la dispersión de una luz puntual. Así sucede, por ejemplo cuando la luz del sol atraviesa una nube o cuando la luz de un flash rebota en una superficie reflectante. Este tipo de iluminación, igualmente muy utilizada, aporta un aspecto menos contrastado, con sombras poco pronunciadas y texturas menos evidentes, que disimula las imperfecciones de las superficies.

Además de la mayor o menor dureza de la luz, hay que tener en cuenta también la dirección con que la fuente de iluminación incide sobre los objetos representados, ya que cumple importantes funciones plásticas de carácter expresivo y puede tener un efecto importante sobre la imagen definitiva. Esto es especialmente notable con una iluminación dura, pero también puede apreciarse con luz dispersa, matizando las sensaciones que se perciben al contemplar la imagen. Así, por ejemplo, una iluminación frontal al objeto tiende a proporcionar información en todas las zonas visibles, pero aplanar el volumen, eliminar las sombras y minimizar la textura. Una luz lateral, sin embargo, resaltar los volúmenes y la textura pero dejará una parte del objeto en sombra, perdiéndose parte de la información de esa zona. Cuando la luz proviene de la parte posterior del objeto, hablamos de contraluz. En este caso queda iluminada únicamente la silueta del objeto, ocultando en gran medida la información de la zona frontal del objeto, que queda en sombra. La luz cenital pura proyecta la luz hacia la parte superior del objeto, proporcionando un aspecto extraño al mismo. Este tipo de iluminación produce sombras poco habituales que resultan muy expresivas en el caso del retrato, generando una sensación de opresión sobre el sujeto. Al igual que la luz lateral, resalta la textura y los detalles, especialmente aquellos de dirección predominantemente horizontal, como las arrugas en un rostro. Por este motivo es sólo utilizada en situaciones concretas en las que se quiere aprovechar su carácter expresivo. La luz que proviene de la parte inferior del objeto se suele denominar contrapicado. Este tipo de iluminación produce un efecto fantasmagórico y amenazador en el que las sombras se proyectan hacia arriba. Es también un tipo de iluminación poco habitual, que se suele reservar para situaciones especiales. Pese a que la dirección de iluminación puede ser puramente lateral, frontal, cenital, etc., lo más habitual es que la luz se proyecte hacia el objeto desde posiciones intermedias.

Por otra parte, es frecuente que exista más de una fuente de luz, ya sean directas o rebotadas desde otros objetos.

Un esquema básico de iluminación según Aparici et al. es el constituido por una luz lateral principal que es matizada por una fuente secundaria frontal, a las que se añade una posterior para destacar la silueta. Generalmente el fondo también es iluminado mediante una luz independiente para resaltar el objeto (Aparici *et al.* 2002). No obstante es posible realizar una gran cantidad de combinaciones para generar numerosos efectos diferentes en la imagen. En fotografía se utilizan diversos recursos para iluminar un objeto, existiendo gran cantidad de fuentes de luz y positivos para focalizarla o dispersarla, así como para hacerla rebotar hacia el modelo, etc.

La temperatura de la luz puede ser utilizada con el fin de añadir significado a la imagen. Así, por ejemplo, se puede utilizar una iluminación con una temperatura de color elevada (de color blanco azulado) para sugerir limpieza, pureza, frío, etc. (Aparici *et al.* 2002).

REPRESENTACIÓN DEL TIEMPO Y DEL ESPACIO

Éstos son dos nociones que algunos autores tratan al analizar la imagen pero cuyo papel no siempre han dejado claro.

Profundidad espacial

La profundidad espacial o el volumen es una de las sensaciones perceptivas que más asiduamente trata de representarse en ilustraciones científicas y una de las que ha sido más extensamente analizada de forma teórica. Previamente se han tratado los fenómenos fisiológicos involucrados en la percepción espacial. En este apartado, se tratará de recoger algunos de los análisis más significativos que se han

realizado acerca de cómo los elementos básicos de la imagen pueden combinarse para sugerir la existencia de profundidad espacial.

En primer lugar, uno de los fenómenos básicos asociados a la percepción de volumen es el descrito por la Gestalt como ley de figura-fondo. Siempre que en una imagen plana consideramos una forma representada como figura y otra como fondo, estamos reconociendo al menos la existencia de dos planos de profundidad en la imagen (Köhler 1947).

Villafañe y Mínguez consideran que de las dos dimensiones sensoriales que definen la realidad, espacio y tiempo, la primera es el parámetro más determinante de la representación en la imagen estática aislada. Esto se debe a que en este tipo de imagen la temporalidad está atenuada y, en todo caso, su ordenación sintáctica está en función del propio espacio. Según estos autores, la estructura espacial de la imagen se construye a partir de los elementos básicos que la conforman. En este sentido, los denominados por ellos elementos de superficie (plano, textura, color y forma) tienen un papel más destacado, mientras que los elementos unidimensionales (línea y punto) tienen una naturaleza espacial más atenuada (Villafañe y Mínguez 2006). No obstante, el punto puede generar sensación espacial por diferentes vías. En primer lugar, en una representación en perspectiva puede actuar de forma implícita como punto de fuga, induciendo una visión frontal hacia el infinito (Domínguez 1993). Por otra parte, como elemento generador de texturas también puede aportar espacialidad al plano (Malins 1983).

Según Dondis, en las representaciones bidimensionales la ilusión de volumen puede ser reforzada mediante diferentes artificios, entre los cuales destaca la técnica de la perspectiva. Adicionalmente, la manipulación tonal de la imagen puede

intensificar la sensación de volumen aprovechando las leyes del claroscuro. El tono es uno de los elementos que mejor expresan la dimensión espacial pues permite crear la sensación de luz reflejada y las sombras. La perspectiva ayuda a reproducir gran parte de las características de nuestro entorno natural pero sin la utilización del tono, la línea apenas es capaz de crear ilusión de realidad.

Por otra parte, señala la dificultad de representar con rigor una forma tridimensional compleja en una imagen bidimensional. En la mayoría de los casos se requerirán imágenes complementarias tomadas desde diferentes puntos de vista de entre los infinitos posibles. No obstante, en algunos casos puede interesar, pese a su mayor coste, la creación de maquetas o modelos en tres dimensiones para hacer más fácil la comprensión de formas complejas (Dondis 1976).

Uno de los autores que han descrito de forma más analítica las posibles interrelaciones de los elementos gráficos capaces de generar la sensación de volumen es Wucius Wong. Así, describe dos tipos de espacio según las características de las formas en él representadas, así como de las relaciones que se establecen entre dichas formas. En el **espacio liso** todas las formas se sitúan aparentemente en el mismo plano que la imagen y paralelas a éste. Además, las formas deben ser también lisas, es decir, sin características que sugieran tridimensionalidad. En este tipo de espacio, la distancia aparente de cada forma al espectador es constante. Por el contrario, en el **espacio ilusorio**, las formas se disponen en apariencia unas por delante de otras y pueden tener una posición oblicua respecto al plano de la imagen.

En el espacio liso las formas pueden relacionarse entre sí mediante toque, penetración, unión, sustracción, intersección, coincidencia o alejamiento. Sin embargo, no pueden tener relaciones de superposición porque esto sugeriría la

existencia de un espacio ilusorio. Otras características de las formas pueden transformar el espacio liso en ilusorio, como sucede con los cambios de color, figura, tamaño, textura, etc. (Figura 58) (Figura 60). En el espacio ilusorio pueden existir formas tridimensionales, que son aquellas que por sus características aparentan tener volumen por sí mismas.

Una de las formas en las que puede conseguirse la sensación de profundidad espacial en el espacio ilusorio es mediante la adecuada utilización de formas lisas, es decir, aquellas que carecen de grosor y que se comportan como delgadas hojas de papel. En primer lugar, las formas lisas pueden contribuir a formar un espacio ilusorio mediante su **superposición**, ya que en esta disposición las formas parecen situarse en distinto plano, separándose al menos una de ellas del plano de la imagen (Figura 58a).

Otro de los mecanismos aprovechados por las formas lisas para crear sensación de profundidad es el del **cambio de tamaño**, mediante el cual, las formas grandes parecen disponerse en planos más cercanos y las pequeñas en planos más lejanos (Figura 58b). Igualmente, un **cambio de color** puede sugerir profundidad. Incluso la más sencilla combinación con blanco y negro puede lograrlo, ya que una forma negra sobre un fondo blanco parece acercarse y una forma blanca sobre fondo negro parece alejarse. Esto es cierto también para otras combinaciones de colores claros y oscuros (Figura 58c). De igual forma, los colores cálidos parecen situarse más cerca del espectador, mientras que los fríos parecen estar más lejanos.

El **cambio de textura** también puede ser una estrategia generadora de espacios debido a que las formas que poseen texturas gruesas parecen situarse delante de las que poseen texturas más finas (Figura 58d).

Otra manera de crear espacio ilusorio es mediante el **cambio de punto de vista**, adoptando un ángulo oblicuo respecto al plano de la imagen. La curvatura o quebrantamiento de las formas de una composición también puede generar profundidad en una imagen según Wong (Figura 58e, Figura 58f). Finalmente, la representación de la sombra correspondiente a una forma en cualquiera de sus posibles ubicaciones también contribuye a crear un espacio ilusorio (Figura 58g).

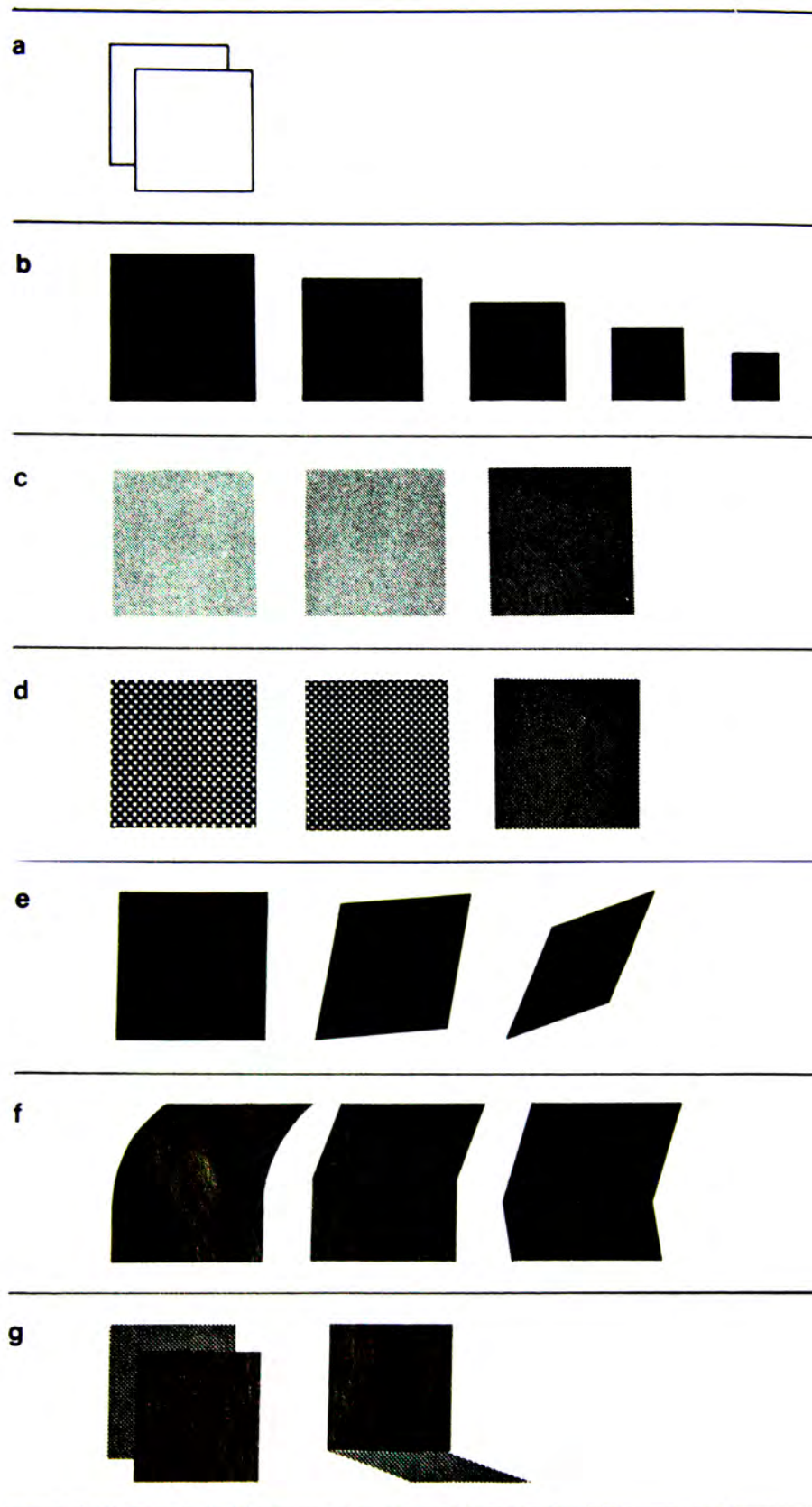


Figura 58: Recursos gráficos para generar la sensación de volumen en imágenes planas

Pero las formas planas, además de sugerir el espacio ilusorio por los mecanismos que se acaban de citar, también pueden combinarse entre sí para crear formas tridimensionales. Esto puede lograrse simplemente añadiendo a una forma tomada desde una perspectiva frontal otras formas en diferentes ángulos (Figura 59b). Existen sistemas de proyección que permiten representar la profundidad y el volumen. Además, las leyes de perspectiva que logran resultados muy realistas mediante la disminución gradual del tamaño con la distancia (Figura 59c, Figura 59d). En todo caso, el volumen está contenido por planos que pueden representarse de varias formas. En primer lugar, **los planos pueden ser dibujados** a partir de una línea de contorno, pudiendo ser opacos o transparentes (Figura 60a). Los **planos sólidos** pueden también sugerir profundidad cuando se combinan, siendo mucho más efectivo cuando existe una variación de color entre planos (Figura 60b). Los **planos de textura uniforme** pueden sugerir volumen de una manera muy eficiente, incluso cuando la textura es la misma en los diferentes planos, ya que puede tener distinta disposición en ellos. Esto es más notable en los casos en los que existe una direccionalidad de la trama o textura, ya que esta contribuye notablemente a la sensación de profundidad espacial (Figura 60c). Finalmente, los **planos de textura en gradación** pueden aportar también un gran realismo a los volúmenes sugeridos en el espacio ilusorio ya que representan esquemas de luz y de sombra que están presentes en el mundo real (Wong 2007).

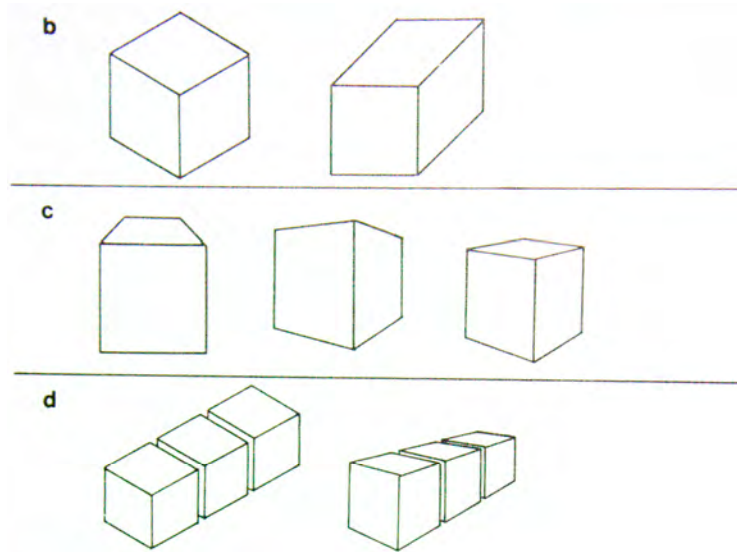


Figura 59: Representación de volumen mediante planos.

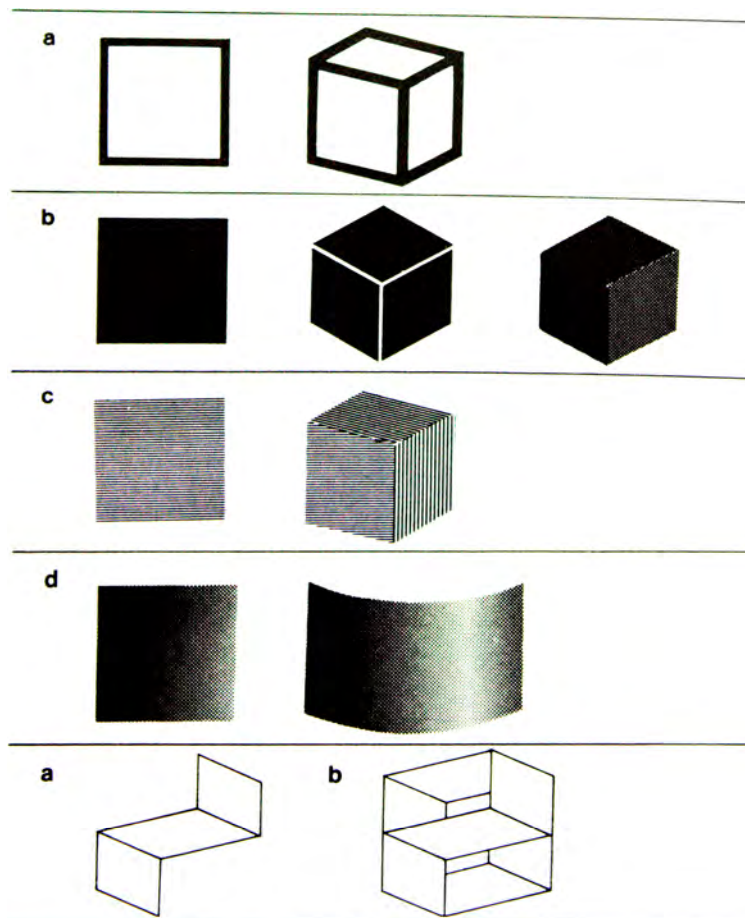


Figura 60: Recursos para generar volumen ilusorio

Movimiento

El movimiento es la incitación más fuerte a la atención según Arnheim. En las obras pictóricas o en la fotografía, por ejemplo, el movimiento es sugerido y no existe como tal. Pero lo que sí podemos apreciar realmente en ella es un juego de fuerzas o tensiones que operan a través de las formas representadas y que generan una sensación dinámica

Dinámica según Arheim

Arnheim considera, por tanto, a la dinámica como el resultado de la lucha de fuerzas contrapuestas. Al no ser la mente humana un sistema cerrado, se ve sometido a diferentes agentes externos que incrementan la tensión, frente a los cuales nuestro sistema nervioso actúa para tratar de lograr una mayor estabilidad. Para ello, nuestro cerebro sigue el principio de simplicidad, merced al cual los sistemas tienden a reorganizar las fuerzas que los constituyen hasta llegar a un equilibrio estable. Así, cuando nuestro sistema visual percibe una determinada configuración de fuerzas en un diseño gráfico, nuestro sistema nervioso tratará de dar una forma más simple que sea compatible con el tema representado.

No obstante, según Arnheim nuestra mente no sigue únicamente el principio de simplicidad. Por el contrario, frente a la tendencia reductora de tensión existe una tendencia anabólica o constructiva de nuestro cerebro que se contrapone a ella.

En opinión de Arnheim, todo objeto visual posee propiedades dinámicas, hasta el punto de afirmar que *la percepción visual consiste en la experiencia de fuerzas visuales*. Esto explica numerosas expresiones comunes entre los artistas y críticos en relación con la fuerza o la tensión de determinados elementos plásticos, tal como si se tratase de fuerzas mecánicas reales. Asimismo considera que la dinámica es una

característica presente en lo que el observador ve, aunque ésta no está presente en el mundo material. Es la ordenación de los elementos que componen el estímulo la que va a generar unas determinadas cualidades dinámicas en lo percibido (Arnheim 2001).

Según Villafañe y Mínguez, la significación plástica de una imagen deriva de tres estructuras icónicas: temporal, espacial y de relación. La naturaleza dinámica de la imagen está relacionada íntimamente con la temporalidad y se debe a tres elementos diferentes: movimiento, tensión y ritmo. De ellos, sólo los dos últimos están presentes en la imagen estática, ya que en ella el movimiento no es real sino sugerido. En cuanto a la tensión, estos autores explican que en una composición existen formas, proporciones, orientaciones, etc., que se muestran deformadas y que en la mente humana tienden a recuperar su estado natural. La actividad plástica o fuerza visual de la tensión producida por una deformación estará determinada por la magnitud de la fuerza que supuestamente origino dicha deformación y la dirección en que ésta ha tenido lugar (conocida como "eje de tensión"). Entre los factores plásticos utilizados más comúnmente para generar tensión son la deformación, el contraste cromático, las sinestesias y la profundidad. Respecto al ritmo, Villafañe y Mínguez opinan que éste nace de la unión de estructura y periodicidad, representadas respectivamente por las proporciones y la cadencia con que aparecen los elementos sensibles.

Para poder enjuiciar las imágenes estáticas aisladas en términos de ritmo solamente es necesario intercambiar la noción de duración temporal por la de extensión espacial, pues la lectura de una imagen también requiere unos tiempos determinados para la percepción de los elementos que la componen.

Otros autores como Aparici et al, destacan la presencia de numerosos signos que sugieren movimiento en este tipo de imágenes, lo que resulta muy evidente en el

ámbito del cómic, pero también en la fotografía y en otros medios. En contra de lo dicho por Arnheim (Arnheim 2001), ellos piensan que uno de los datos que de forma más inmediata sugieren temporalidad en las imágenes fijas aisladas es la congelación de un objeto en movimiento, ya que el observador entiende que dicho instante se enmarca en una secuencia de sucesos. Por otra parte, las líneas cinéticas o la duplicación de elementos en diferentes momentos en una misma imagen actúan como símbolos que indican movimiento y temporalidad, puesto que no existe movimiento sin tiempo. Además, señalan que en fotografía, las líneas cinéticas o estelas pueden apreciarse en imágenes tomadas con una baja velocidad de obturación (Aparici *et al.* 2002).

Por otra parte, la presencia o ausencia de movimiento en una obra posee una gran importancia para los artistas. Ninguna de las teorías tradicionales para explicar este fenómeno mediante el cual se atribuye movimiento a figuras estáticas sigue un planteamiento correcto en opinión de Arnheim. Este autor considera inconsistente la teoría aceptada por numerosos filósofos y psicólogos de que la percepción de movimiento se debe a una ilusión que tiene su base en nuestra experiencia previa acerca del comportamiento dinámico de los objetos. Al mismo tiempo considera falsa la teoría de que el dinamismo sugerido por una imagen estática se debe no tanto a la asociación del movimiento con los objetos representados como a la asociación entre el movimiento y los elementos plásticos con que dichos objetos son representados. Según esta hipótesis nuestra experiencia nos permite relacionar determinadas experiencias perceptivas con el movimiento de los objetos, tales como la forma en cuña de una estela en el agua o una bandada de patos. Es más, para Arnheim, cuando las formas inmóviles se parecen más a una forma de movimiento, paradójicamente parecen quedar congeladas e inertes.

En opinión de Arnheim existen fuerzas activas que actúan durante la percepción visual, existiendo numerosas pruebas de que lo que vemos (fenograma) no se corresponde exactamente con la proyección retiniana de los objetos (ontograma). Esto parece quedar demostrado gracias a diferentes ilusiones ópticas en las que se produce una distorsión de aquello que objetivamente es mostrado al observador. Una de tales ilusiones que es la de Müller-Lyer (Figura 61), que parece indicar la existencia de una tensión de dirección horizontal que tiende a expandir o contraer la línea. Dicha tensión es compensada durante la percepción mediante el acortamiento o alargamiento de la línea en el fenograma con el fin de encontrar de nuevo el equilibrio.

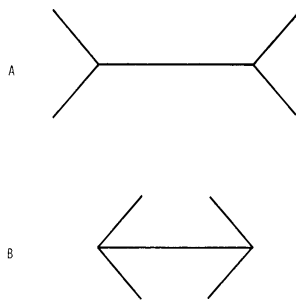


Figura 61: Ilusión de Müller-Lyer.

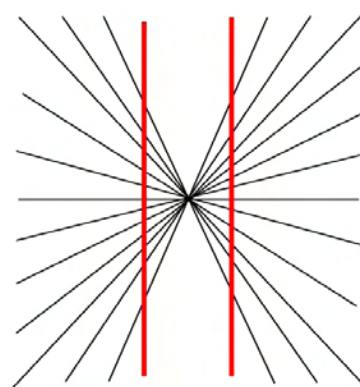


Figura 62: Ilusión de Hering.

Del mismo modo se produce una distorsión perspectiva en la ilusión de Hering (Figura 62), en la que una línea totalmente recta parece curvarse cuando se superpone a un conjunto de líneas dispuestas radialmente, a diferencia de lo que sucede cuando la línea se superpone a una serie de líneas dispuestas en paralelo. No obstante, es difícil mensurar la tensión dirigida en esquemas más complejos, tales como los que genera un artista plástico. En este caso resulta difícil predecir cambios de forma, orientación, ubicación, etcétera, van a plasmarse en el fenograma.

La tensión dirigida es pues, para Arnheim, una propiedad de los objetos visibles que el sistema nervioso del observador genera (según una serie de reglas que dependen de la naturaleza de nuestro sistema perceptivo visual) al mismo tiempo que lo hace con la experiencia del tamaño, la forma o el color a partir del objeto real.

Desde la antigüedad se ha intentado representar en movimiento en imágenes estáticas aisladas. Una de las primeras aproximaciones consiste simplemente en congelar la figura en movimiento tratado de capturar su aspecto durante un instante del mismo, dejando a la imaginación del espectador lo que sucede antes y después del ese momento puntual (Arnheim 2001).

Arnheim indica que para lograr dinamismo no se debe buscar la imitación del movimiento propio de las imágenes secuenciales, pues esta estrategia generalmente lleva al fracaso, ya que la representación más efectiva generalmente no se corresponde con ninguna de las fases reales del proceso de movimiento, sino que frecuentemente el artista modifica la apariencia del objeto durante una fase del movimiento para dotarle de una mayor tensión dirigida. Así, por ejemplo ha sucedido con las representaciones pictóricas de caballos al galope, en las que a menudo la posición de los animales no se corresponde con ninguna de las fases reales o del movimiento capturado mediante instantáneas fotográficas (Figura 63 y Figura 64) (Arnheim 2001).



Figura 63: Derby de Epsom. Jean Louis Théodore Géricault

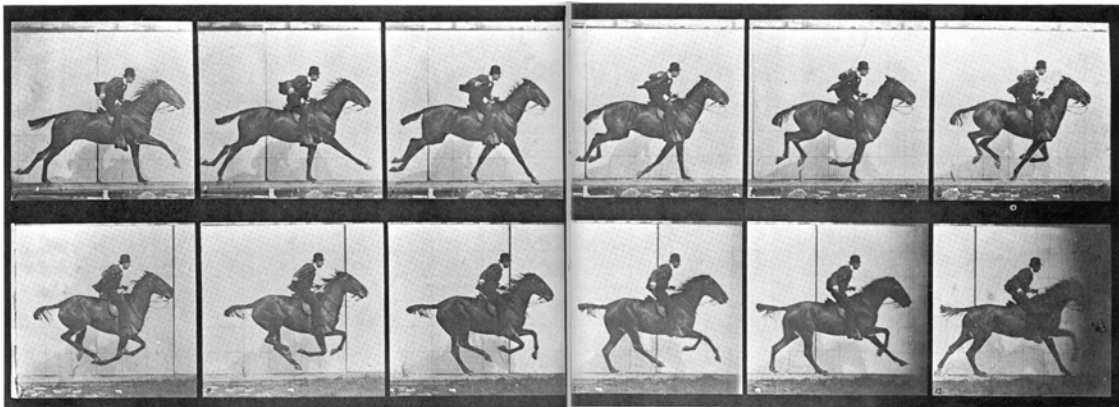


Figura 64: Secuencia de un caballo galopando. Eadweard Muybridge

Esto se debe a que la sensación de movimiento del observador tiene al contemplar la imagen está más relacionada con las tensiones reflejadas en la representación que con la fidelidad con que se refleja una fase de movimiento. Arnheim pone como ejemplo de este fenómeno otra de las imágenes seriadas de Muybridge, en la que un herrero golpeado con un martillo en un yunque. En su opinión la sensación de impacto sólo acontece paradójicamente cuando el martillo está totalmente levantado y no en las fases intermedias en las que la velocidad es máxima.

En dichas fases lo que percibe el observador es un levantamiento suave de la herramienta (Figura 65).

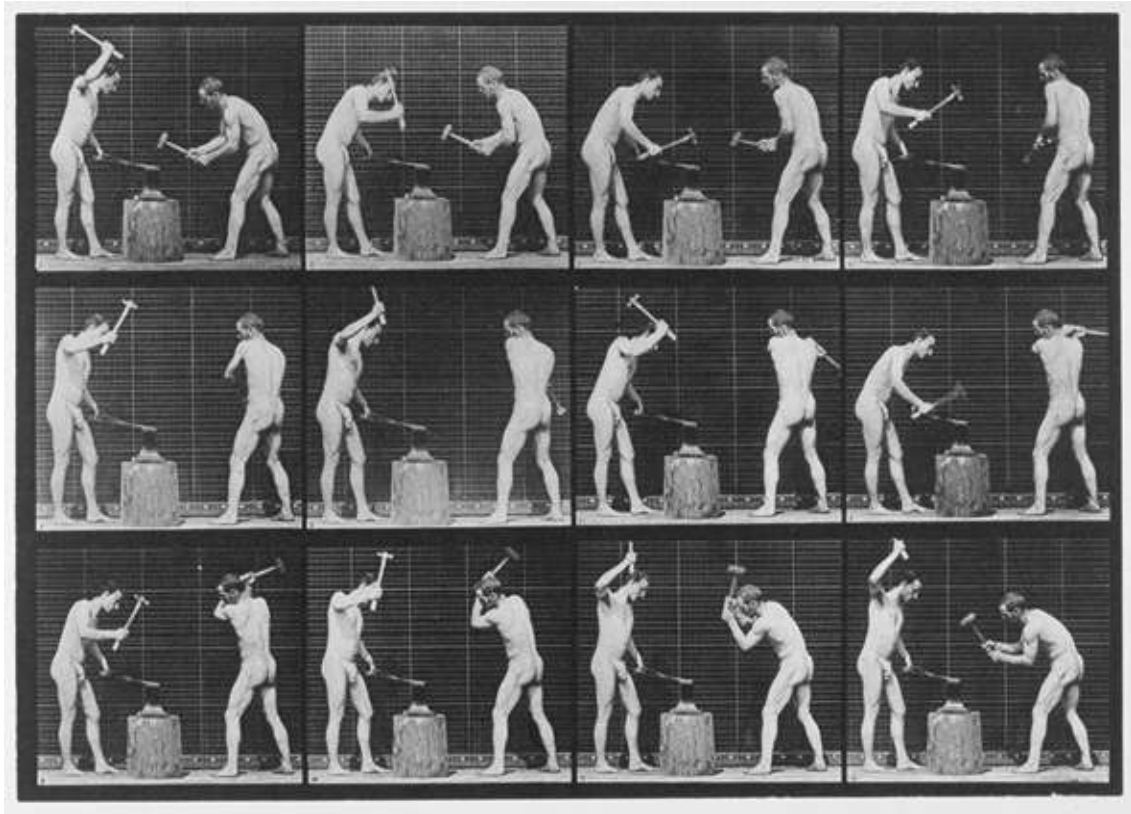


Figura 65: Herreros. Eadweard Muybridge.

De la misma forma, las imágenes obtenidas durante el proceso de la marcha, las fotografías que muestran al individuo con las piernas más separadas generan una sensación de movimiento mayor que aquellas las que están más juntas, aunque la velocidad del movimiento sea mayor durante la toma de las segundas (Figura 66).

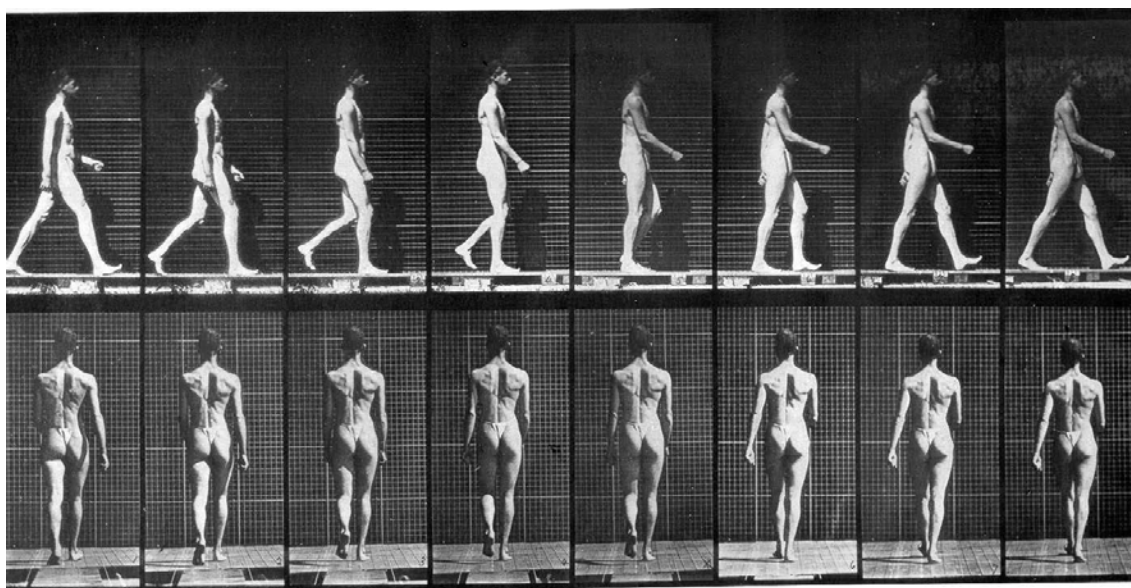


Figura 66: *Hombre desnudo caminando. Eadweard Muybridge.*

Los artistas conocen este fenómeno, aunque sea de forma intuitiva, y son capaces de sintetizar una secuencia temporal en una sola imagen que represente su globalidad y que se vuelve así intemporal.

Uno de los métodos más efectivos para crear una tensión dirigida en una imagen es la de incluir algún elemento con orientación oblicua, ya que tendemos a percibirlo como una desviación de las posiciones de máximo equilibrio (horizontal o la vertical). Numerosos artistas han empleado la oblicuidad para aumentar el dinamismo de sus obras. En ocasiones, ésta ha sido incluso objeto de fuerte polémica, como la que tuvo lugar en el seno del grupo holandés De Stijl cuando Theo van Doesburg defendió el uso de direcciones oblicuas frente a las tesis de Mondrian, para quien las formas horizontales y verticales eran las únicas admisibles en la pintura.

La percepción de movimiento depende de la inclinación del elemento considerado. En la Figura 67 se puede comprobar cómo dos líneas cruzadas, representando las aspas de un molino, poseen mayor dinamismo cuando se orientan

oblicuamente que cuando coinciden con las direcciones horizontal y vertical. Este dinamismo se ve incrementado cuando la inclinación de ambas líneas no es simétrica.

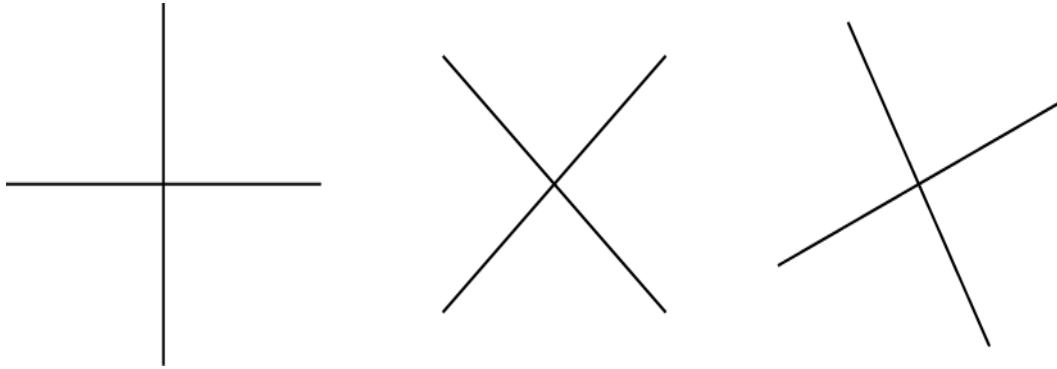


Figura 67: Las formas inclinadas (centro) poseen mayor dinamismo que las orientadas según el eje vertical y horizontal (izquierda). Las inclinaciones asimétricas (derecha) generan mayor sensación dinámica.

Arnheim afirma que la tensión dirigida debida a la inclusión de trayectorias oblicuas en composiciones bidimensionales se atenúa cuando el observador considera que dichas direcciones forman parte de una representación del espacio tridimensional. Así, dos líneas inclinadas que convergen parecen acercarse a la horizontal cuando son contempladas como raíles de tren. No obstante, las imágenes en las que se representa la profundidad espacial mediante el uso de líneas oblicuas conservan cierta dosis de dinamismo, efecto que aprendieron a aprovechar progresivamente los pintores barrocos como Tintoretto (Figura 68).



Figura 68: La última cena. Tintoretto.

Una última estrategia para lograr dinamismo mediante el uso de las direcciones oblicuas consiste en inclinar no sólo algunos de los elementos de la imagen sino toda ella. Esta es la técnica comúnmente utilizada en fotografía para dotar de una mayor tensión a la escena mediante el giro de la cámara durante la toma o de la imagen capturada en el proceso de edición.

En opinión de Arnheim, **toda tensión visual procede de la deformación** de una forma conocida. Este fenómeno sucede porque percibimos el objeto deformado como algo que se aparta de una forma ideal de partida que persiste como modelo en nuestra memoria. Así, el rectángulo y el rombo son considerados por el observador como deformaciones de un cuadrado y el óvalo como una desviación de un círculo. Del mismo modo se aumenta la tensión cuando nos separamos de las proporciones ideales de una figura. Por este motivo un rectángulo posee mayor dinamismo cuando sus dimensiones no se han obtenido teniendo en cuenta la sección áurea. De la

misma forma, al representar la figura humana, se puede incrementar la tensión cuando se introducen deformaciones de alguna de sus partes, fenómeno que puede contemplarse en la obra de pintores como Modigliani o el Greco. No obstante, estas deformaciones, al igual que las que se realizan en una caricatura, para ser correctamente interpretadas deben ser consideradas según la intención y el estilo que el artista utiliza. De este modo no se tomarán dichas alteraciones como taras presentes en el objeto real representado. En una caricatura, por ejemplo el observador comprende que se está tratando de realzar algún rasgo característico del retratado, mientras que en un cuadro de el Greco, la estilización se interpreta como una cualidad de todos los seres representados.

Algunos de los efectos dinámicos más acentuados de las imágenes estáticas aisladas se corresponden con intentos de reproducción del movimiento estroboscópico. Al igual que durante este tipo de registro del movimiento, la repetición de elementos muy similares con variaciones graduales de posición, tamaño, forma, color, u otras características, va a dar lugar a una fuerte sensación dinámica. La Figura 69 muestra una serie de bloques construidos por Franz Rudolf Knubel a partir de una sugerencia de Theodor Fischer, en la que existe un cambio progresivo del tamaño y forma de los mismos. El observador percibe la serie como un proceso de transformación de la forma inicial a la final más que como un conjunto de figuras independientes.

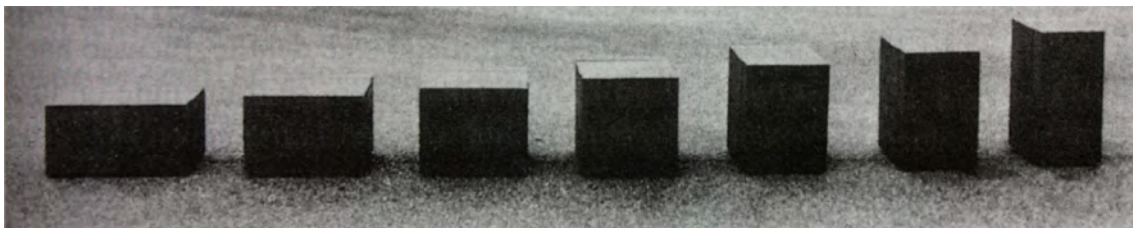


Figura 69: Movimiento estroboscópico

El efecto estroboscópico es todavía más notable cuando los elementos se traslapan, lo que ha sido utilizado en pintura, especialmente durante el futurismo con el fin de representar el movimiento. Un ejemplo de este proceso puede observarse en el conocido cuadro de Marcel Duchamp, *Desnudo bajando una escalera* (Figura 70).

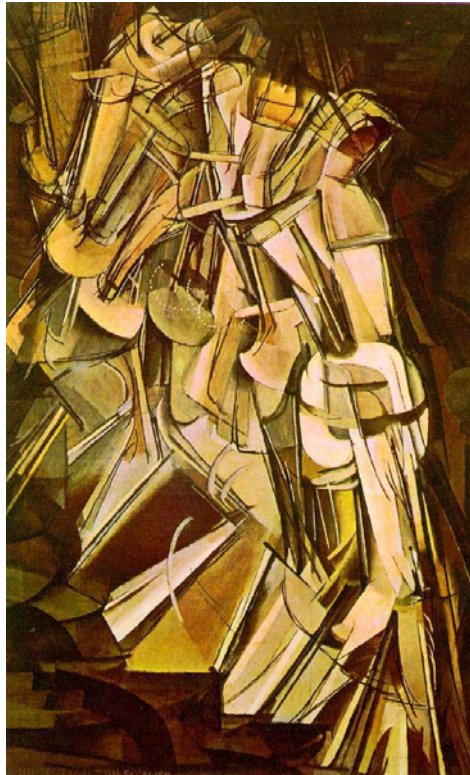


Figura 70: Duchamp, *Desnudo bajando una escalera*.

Además de esta forma de descomposición del movimiento, es frecuente que los artistas incorporen en sus obras estáticas diferentes fases sucesivas de la acción. Esto puede apreciarse, por ejemplo, en diferentes retratos de Picasso, en los cuales duplica y superpone diferentes partes de una figura, representando juntos elementos que no podrían contemplarse al mismo tiempo en la vida real.

Temporalidad

Villafañe y Mínguez definen la temporalidad como una representación del tiempo real a través de la imagen. Según ellos, la temporalidad en las imágenes aisladas dependerá de la organización espacial de los elementos morfológicos en virtud de los denominados elementos dinámicos de la imagen fija aislada: la tensión y el ritmo. No obstante, también apuntan que el tiempo real carece de orden y tiene una naturaleza lineal o continua, no existiendo diferencias en los elementos temporales que lo componen. Sin embargo, el tiempo representado en imágenes es discontinuo y posee un orden jerárquico, permitiendo además alteraciones del esquema temporal de la realidad. Puesto que no posee orden, el tiempo real no es significante, a diferencia de la temporalidad, que requiere una ordenación sintáctica de los elementos morfológicos para sugerir el paso del tiempo en las imágenes fijas, la cual lleva necesariamente asociado un componente semántico.

Según Villafañe y Mínguez, existen dos formas de temporalidad icónica basadas respectivamente en la secuencia (imágenes secuenciales) y otro basado en la simultaneidad (imágenes aisladas). En las primeras, tiempo y espacio poseen el mismo poder y puede dársele prioridad a uno u otro dependiendo de las necesidades. Por el contrario, en las imágenes estáticas aisladas, el tiempo siempre va a depender de la organización espacial de los elementos constituyentes de la imagen, puesto que es dicha ordenación la que va a permitir crear relaciones temporales. Por otra parte, la organización del espacio en ambos tipos de imagen es diferente ya que en las imágenes aisladas los elementos morfológicos están dispuestos unos en función de otros y sus relaciones no llegan a trascender el espacio acotado por el cuadro de la imagen. En las imágenes secuenciales, las relaciones entre elementos pueden saltar de una imagen a la siguiente, por lo que la relación entre ellos y su significado

asociado pueden perderse al extraer la imagen de la secuencia (Villafañe y Mínguez 2006).

En este sentido, Aparici et al afirman que cuando una imagen fija aislada guarda una relación secuencial con otras, las posibilidades de recreación temporal se incrementan notablemente, convirtiéndose en un recurso narrativo de fundamental. El montaje de las imágenes fijas en una secuencia determina la temporalidad de la serie. Existen diferentes recursos que permiten modificar el tiempo representado mediante una secuencia de imágenes, especialmente en el cómic, tales como jugar con el tamaño, la orientación o la ordenación de las viñetas. Muchas de dichas técnicas han sido heredadas del medio cinematográfico, tales como el fundido en negro o el encadenado. Igualmente, el discurso narrativo puede guardar en el cómic muchas similitudes con el de una película, utilizándose flash-backs, flash-forwards, acciones simultáneas, etc. (Aparici et al. 2002).

En relación con la temporalidad de las imágenes fijas aisladas, Arnheim opina que es frecuente la confusión entre movilidad y secuencia, lo que lleva a algunas personas a decir que la pintura o la escultura son “arte temporal” por el hecho de que la obra debe ser recorrida por la mirada del observador para ser asimilada, viendo sus partes sucesivamente. En realidad, según Arnheim, lo que distingue a una secuencia es el orden necesario que esta prescribe. Así, en una representación teatral, generalmente hay un orden con el que se suceden las escenas, que, de no ser respetado se alteraría el sentido de la obra. Sin embargo, al observar un móvil escultórico, la aleatoriedad de los movimientos hace que puedan ser intercambiados de orden sin que esto importe. En este segundo caso, son las inflexiones de sus partes en las distintas posiciones del espacio las que aportan interés y belleza a la pieza. Por otra parte, pueden existir imágenes inmóviles que deben ser leídas según

una secuencia, como ocurre con las viñetas de un cómic, a diferencia de lo que ocurre en un cuadro, en el que el recorrido de la vista puede tener un orden diferente sin que eso altere notablemente su significado.

2.2.2 SEMIOLOGÍA GRÁFICA

En la enseñanza de contenidos científico-técnicos es muy frecuente el uso de ayudas visuales tales como diagramas, gráficas, tablas, ilustraciones, fotografías y mapas conceptuales.

Las gráficas son utilizadas habitualmente en libros de texto, artículos científicos, informes y otros medios para mostrar funciones matemáticas, datos de ciencias sociales y naturales, teorías científicas etc. (Kaput 1987; Mayer 1993; Lewandowsky y Behrens 1999). Una de las razones que explican el gran empleo que se hace de las gráficas en comunicación científica es su gran efectividad, ya que permiten entender de una manera más fácil la información cuantitativa (Macdonald-Ross 1977; Winn 1987). Los patrones cuantitativos y las relaciones entre los datos se extraen rápidamente de las gráficas gracias a la enorme capacidad de nuestro sistema visual para percibir patrones geométricos. Esta cualidad nos permite interpretar globalmente grandes cantidades de información a partir de una gráfica correctamente diseñada o, por el contrario, focalizar la atención en un detalle específico (Cleveland y McGill 1984).

ESTUDIOS SOBRE LA PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LAS GRÁFICAS CIENTÍFICAS

En general, en el área científica, la investigación acerca de las gráficas ha sido fragmentada y en ocasiones poco sistemática, siendo los resultados a veces enmascarados por la presencia de variables no controladas. En muchos casos se trata

de estudios de tipo pragmático restringidos a un área determinada, lo que puede reflejar el grado de dificultad y complejidad de la investigación y la construcción de teorías en este área (Levin, Anglin y Carney 1987; Ruiz-Primo y Shavelson 1996).

Aunque diversos autores han estudiado los métodos de presentación de las gráficas estadísticas (Brinton 1914; Bertin 1967; Schmid y Schmid 1979; Bertin 1983), hasta los años 1980 apenas se realizaron estudios rigurosos sobre codificación visual de gráficas estadísticas. Esto pudo ser la principal causa del escaso consenso sobre muchas de las cuestiones acerca de la presentación de las gráficas. Así, las recomendaciones plasmadas en relación con el aspecto de una gráfica eran muy diversas y a menudo contradictorias (Cleveland, McGill y McGill 1988). No obstante, en los últimos años se están llevando a cabo estudios empíricos sobre estas ayudas visuales desde otras áreas como la psicología cognitiva, que pueden servir de base para la detección de errores de diseño en las gráficas, así como para identificar buenas prácticas, lo que permitirá desarrollar guías y nuevos métodos de presentación gráfica de datos en el futuro (Cleveland y McGill 1984; Cleveland 1993).

Bertin fue el primer autor en abordar de una manera profunda y sistemática este asunto. En su tratado *Semiología de la gráfica*, formuló importantes cuestiones sobre la decodificación visual y propuso diversas técnicas para mejorar la presentación de las gráficas. Su objetivo principal era incrementar la eficacia de los gráficos, es decir, reducir el tiempo de observación necesario para su comprensión (Bertin 1967; Bertin 1983).

El primer lugar Bertin analizó cuáles serán aquellos elementos de los que estaba compuesta una gráfica. Así, definió una **invariante** o noción común a todos los datos, y unos **componentes** o conceptos variables.

Por otra parte, propuso la existencia de **tres estadios sucesivos** que tenían lugar durante el proceso de lectura de una gráfica. El primero de ellos, al que denominó identificación externa, es aquel mediante el cual se identifican tanto los invariantes como los componentes que esta fase permite aislar dentro del dominio del conocimiento humano sobre el asunto concreto tratado en la figura. El segundo estadio, al que dio el nombre de identificación interna, es aquél en el cual el lector reconoce a través de qué variables visuales es representado cada uno de los componentes en la gráfica. Finalmente, en un último estadio, el usuario es capaz de percibir las relaciones de correspondencia entre los componentes

Posteriormente describió las **variables visuales** que intervenían en la interpretación de los gráficos, restringiendo su estudio a unas condiciones de observación concretas (gráficos impresos en papel blanco, a la distancia de lectura de un libro, con luz y constante normales). Las variables consideradas por Bertin fueron, por un lado, las dos dimensiones del plano y, por otro, las denominadas variables retinianas: el tamaño, el valor, la textura, el color, la orientación y la forma. Además, identificó el **punto, la línea y el plano** (las figuras elementales de la geometría plana) con los tres tipos de unidades significantes que podían ser asignados a una marca en el plano, denominándolas **implantaciones**.

Por otra parte, Bertin propuso cuatro **niveles** posibles para las variables consideradas, pudiendo ser estas consideradas en virtud de sus propiedades perceptivas como variables selectivas, asociativas, ordenadas o cuantitativas. En primer lugar, la **variable selectiva** es aquella que permite aislar inmediatamente todos los elementos que pertenecen a la misma categoría de esa variable. Así, por ejemplo, podemos hablar de signos rojos, signos oscuros o signos situados a la derecha del plano (Figura 71). En segundo lugar, hablamos de **variable asociativa** cuando ésta

permite agrupar elementos diferenciados por dicha variable. La forma funciona como variable asociativa porque permite ver como signos similares figuras con diferente forma pero con el mismo color y tamaño, por poner un ejemplo (Figura 71). Sin embargo, el valor tonal no funciona como variable asociativa porque elementos con la misma forma y tamaño no son considerados similares si su valor tonal es diferente.

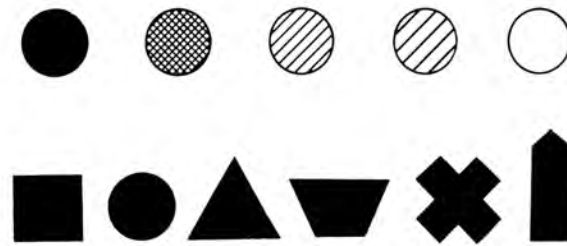


Figura 71: En la fila superior se muestra un ejemplo de cómo el valor tonal no funciona como variable asociativa. En la fila inferior la forma sí actúa como tal.

En tercer lugar, una **variable ordenada** es aquella que permite clasificar en categorías los elementos de forma inmediata y universal. Finalmente, una **variable cuantitativa** permite expresar las diferencias entre elementos mediante una razón numérica. De las variables consideradas por Bertin, únicamente las dos dimensiones del plano poseen las cuatro citadas propiedades perceptivas (Figura 72).

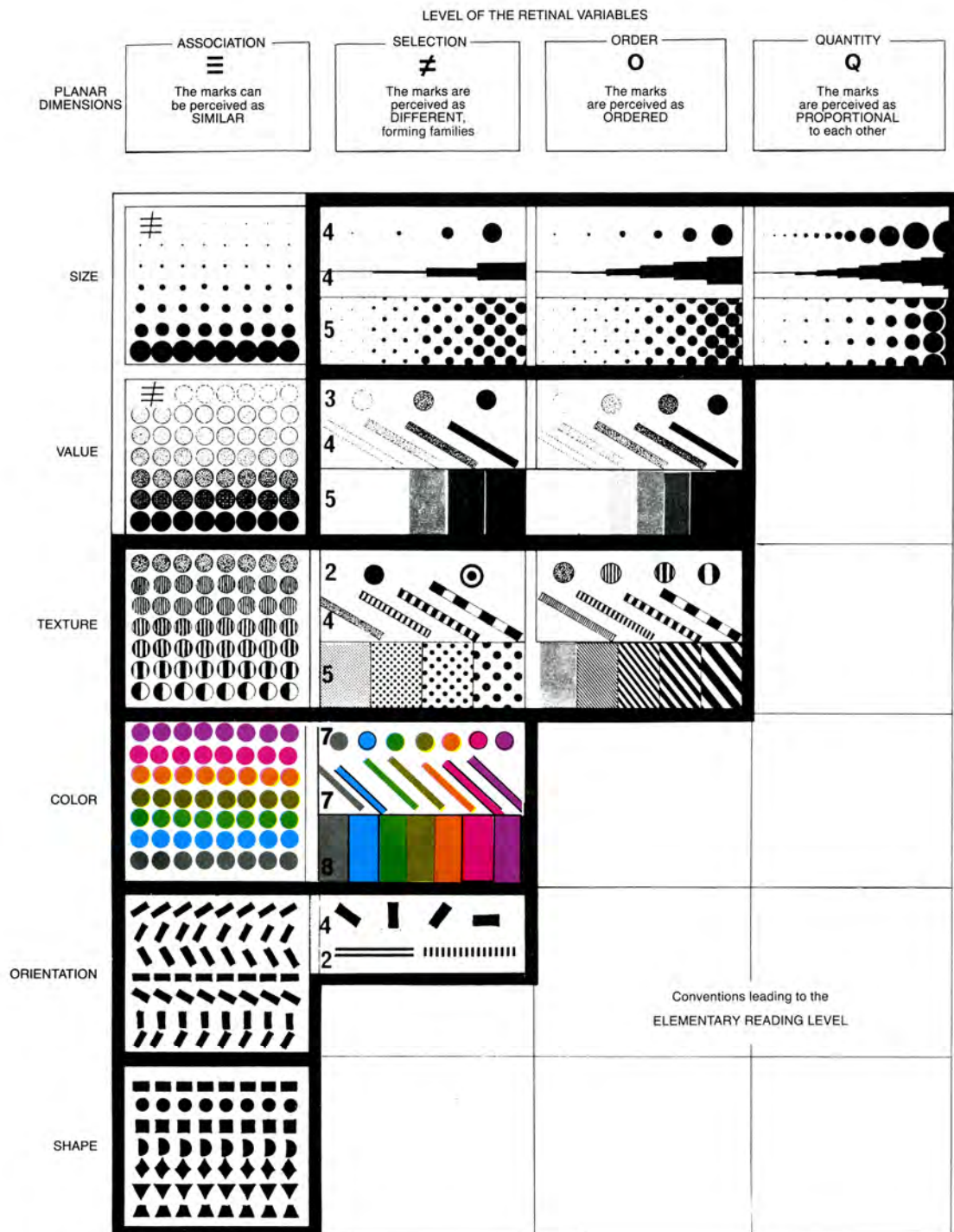


Figura 72: propiedades perceptivas o niveles que pueden ser alcanzados mediante cada una de las variables visuales consideradas por Bertin (tomado de Bertin 1983)

Un concepto elemental en la semiología de la gráfica de Bertin es el de **imagen**. Ésta es según él, una forma visual significativa perceptible en el mínimo instante de visión. Esto implica que el lector debe ser capaz de aislar los datos de entrada de todos los demás y durante un instante de percepción pueda ver todas las correspondencias que están determinadas por dichos datos de entrada pero solamente esas (Figura 73).

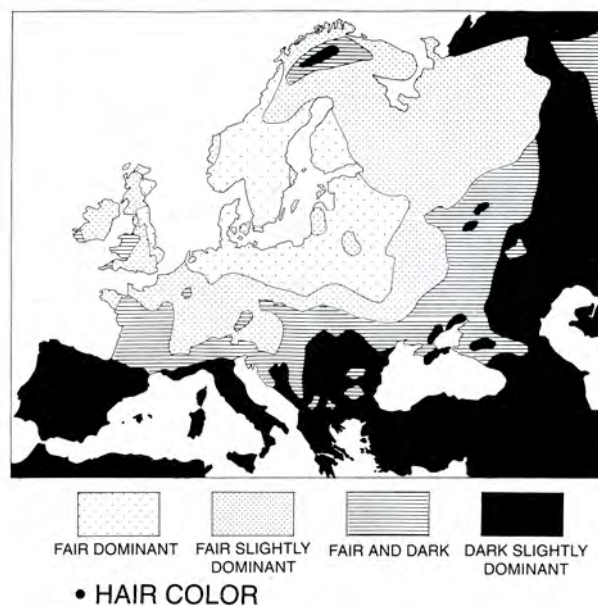


Figura 73: Imagen según la terminología de Jacques Bertin (Tomado de Bertin, 1983).

En contraposición al concepto de imagen, Bertin considera que la **figuración** (Figura 74) es una composición basada en múltiples imágenes que no permite aislar instantáneamente pero de forma conjunta una serie de datos. Por tanto, este tipo de gráfico se muestra totalmente ineficaz para determinados usos. Concretamente, de los tres posibles niveles de lectura de una imagen (elemental, intermedio y global), las figuraciones únicamente permiten explorar el primero, aportando sólo información parcial y aislada que no puede ser relacionada con la totalidad. Sin embargo, las

imágenes, permiten los tres **niveles de lectura**, pudiendo, en un extremo, reducir la información a una sola imagen global o, en el otro, considerar todas y cada una de las imágenes elementales que la constituyen para obtener una información precisa y concreta (Figura 75). Uno de los mayores límites de la imagen es su incapacidad para mostrar de forma efectiva más de tres variables, lo que supone un reto importante debido a que la tendencia es cada vez más comparar un mayor número de componentes.

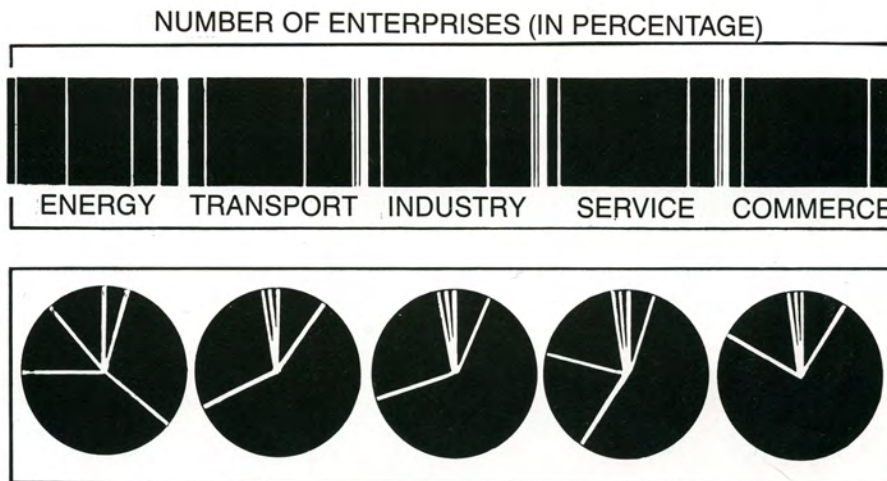


Figura 74: Figuración según la terminología de Jacques Bertin (Tomado de Bertin, 1983).

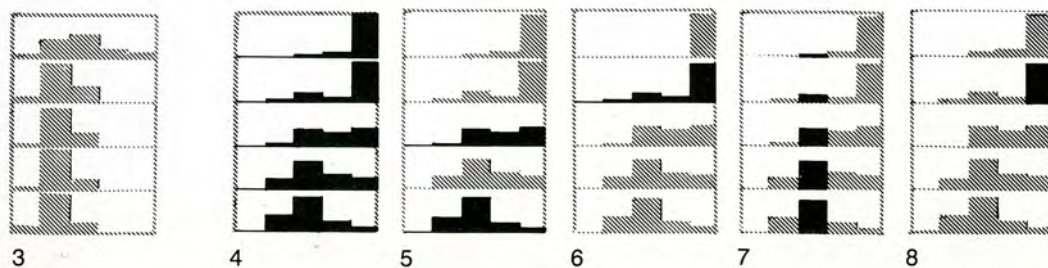


Figura 75: Una imagen (4), permite una lectura global de la misma para compararla con otra imagen (3) pero permite también lecturas parciales para comparar determinados aspectos (5-7). Finalmente, podemos aislar un elemento para realizar una lectura elemental (8) (Tomado de Bertin, 1983).

Bertin describió además tres **funciones de las representaciones gráficas**: registro de la información, comunicación de la información y procesamiento de la información. Para poder cumplir dichas funciones, dichas representaciones gráficas deben crearse teniendo en cuenta unas **reglas generales de construcción**. Una de ellas es que la información debe ser representada en una imagen única o, en su defecto, en el mínimo número de imágenes posible, con el fin de emplear el mínimo número de instantes de percepción en su análisis. Otra regla fundamental es que la imagen debe ser simplificada sin reducir el número de correspondencias para toda información con más de un componente susceptible de reorganizar. Además de estos principios básicos de construcción, las gráficas deben respetar unas **reglas generales de legibilidad** que afectan a la densidad gráfica, a la separación angular y a la separación retiniana. La densidad gráfica, por ejemplo, debe estar entre unos límites para poderse percibir adecuadamente (Figura 76), y lo mismo sucede con la relación entre las dos dimensiones del plano, que permite establecer una separación angular (según la define Bertin) (Figura 77), o con la existente entre las características de las marcas significativas y no significativas (Figura 78).

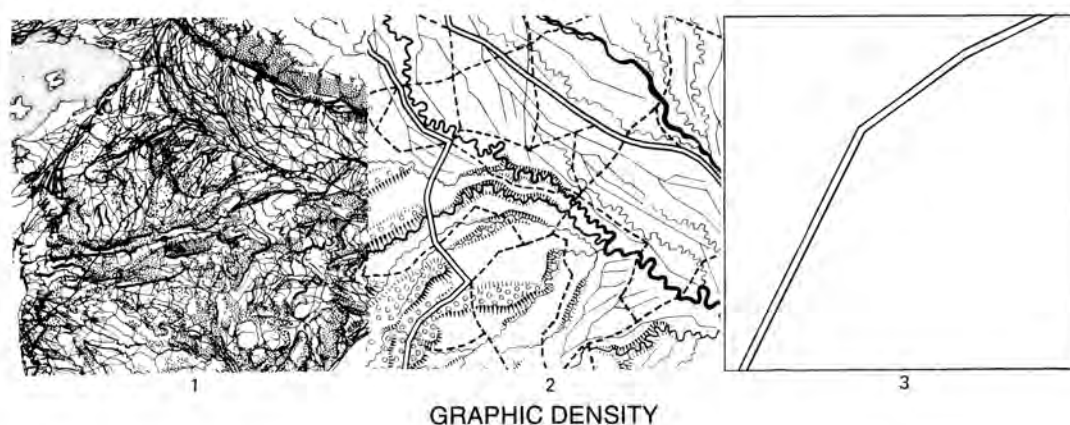


Figura 76: La densidad gráfica excesiva (izquierda) o escasa (derecha) limitan la legibilidad, mientras que una densidad adecuada la facilita (centro) (Tomado de Bertin, 1983).

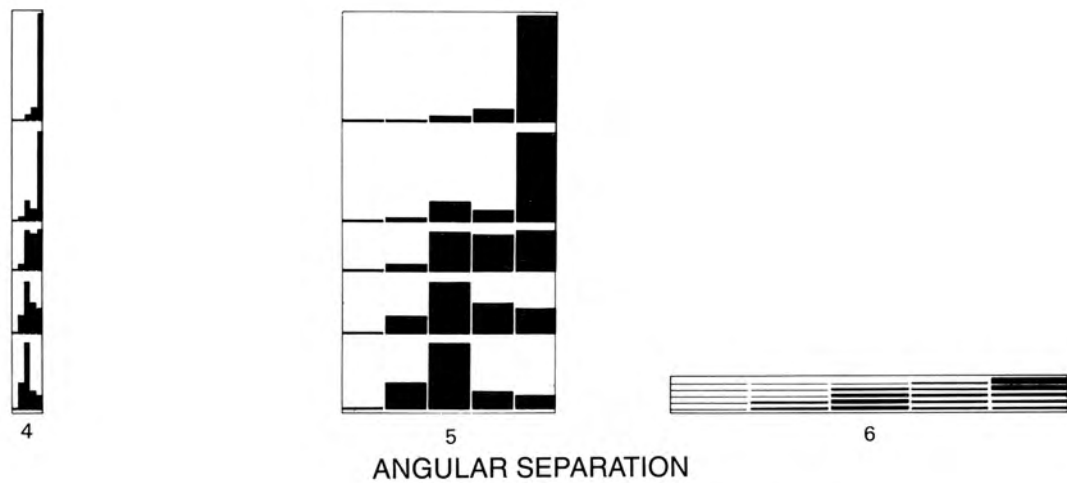


Figura 77: La desproporción entre las dos dimensiones de la gráfica, denominada por Bertin separación angular es también un factor determinante de la legibilidad (Tomado de Bertin, 1983).

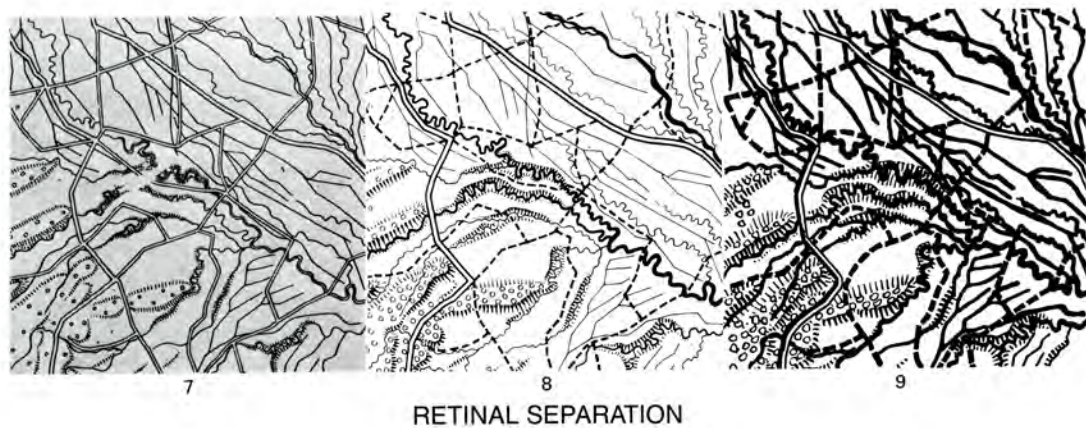


Figura 78: La adecuada separación de las marcas más significativas de las que lo son menos también es importante para evitar una imagen débil (izquierda) o muy remarcada (derecha) (Tomado de Bertin, 1983).

La legibilidad aumenta mediante la **combinación redundante de distintas variables** visuales, tales como la textura y el tamaño, lo que resulta fundamental para la legibilidad selectiva (Figura 79).

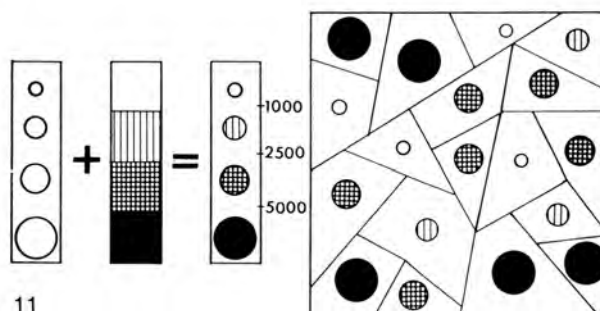


Figura 79: La redundancia de información aportada a partir de las diferentes variables refuerza la legibilidad (Tomado de Bertin, 1983).

Otra cuestión abordada por Bertin fue la **clasificación de las representaciones gráficas** en cuatro grupos (denominados **imposiciones**): diagramas, redes, mapas y símbolos. Los **diagramas** se caracterizan porque las correspondencias en el plano pueden establecerse entre todas las divisiones de un componente y todas las divisiones de otro componente. En las **redes** sin embargo las correspondencias se establecen entre todas las divisiones de un mismo componente. Si además de lo anterior existe una relación con el orden geográfico, las redes pueden ser consideradas como **mapas geográficos**. Finalmente, cuando las correspondencias no están establecidas en el plano, sino entre el elemento simple del plano y el lector, se puede hablar de **simbolismos**.

Una de las cuestiones claves para la representación gráfica de la información es la correcta **selección del tipo de gráfico que se va a emplear, así como de sus características**, dado que la cantidad de combinaciones posibles es muy amplia y cada tipo de información puede requerir una presentación diferente. Con el fin de determinar el tipo de gráfico más indicado para cada caso, Bertin analizó cada uno de ellos valorando sus pros y sus contras en cada situación. Para ello tuvo en cuenta el número de variables necesarias para representar la información gráficamente, el nivel

de organización de los componentes (variable selectiva, asociativa, ordenada o cuantitativa), la dimensión de los componentes y el tipo de representación (punto, línea, área).

El análisis llevado a cabo por Bertin, así como las recomendaciones que realizó para mejorar la eficiencia de las gráficas han ejercido una notable influencia tanto en las investigaciones posteriores en esta materia como en su puesta en práctica por investigadores y docentes. Sin embargo, algunos autores como Cleveland consideran que Bertin no se apoyó suficientemente en los principios de la teoría de la visión y sus conclusiones fueron más intuitivas y fruto de su experiencia personal que de la experimentación con sujetos (Cleveland 1993).

Otros autores como Wainer y Tufte estudiaron el uso de gráficas en los medios de comunicación de masas y encontraron una gran cantidad de ejemplos de representaciones de datos inadecuadas, así como de errores (Wainer 1980; Tufte 1983). Su trabajo aportó importantes sugerencias sobre cómo pueden mejorarse las gráficas en los medios de comunicación de masas (Tufte 1983). No obstante, a menudo se les ha achacado la falta de sistematización en sus aportaciones y el hecho de estar basadas principalmente en la valoración crítica de casos.

En un intento por trasladar este tipo de análisis a los gráficos científicos, Cleveland llevó a cabo un estudio en el que analizó 377 gráficas de un volumen de la revista Science, registrando diferentes tipos de errores objetivos, prácticas poco convencionales, posibles métodos de mejora y otras variables, demostrando que había errores en aproximadamente el 30 % de las graficas (Cleveland 1984).

Según Cleveland únicamente los estudios rigurosos del procesamiento visual pueden dar lugar a la base científica para optimizar los métodos de presentación. Por

ello, es preciso desarrollar experimentos controlados, variando sistemáticamente aspectos de la presentación y estudiar los efectos en el proceso de decodificación. Dichos efectos pueden ser observados de dos formas. Una es la simple observación de las presentaciones (Bertin 1967). Así, por ejemplo, puede comprobarse como al cambiar la proporción entre la dimensión horizontal y vertical del gráfico la decodificación visual de ésta se ve afectada (Figura 77). Este método puede servir en aquellos casos en los que los mecanismos involucrados son sencillos, pero es insuficiente en situaciones más complicadas, siendo más conveniente la realización de experimentos con sujetos en las que se mide la respuesta frente a cambios sistemáticos del estímulo (modificaciones en la presentación) (Cleveland 1984; Cleveland y McGill 1985).

Cleveland desarrolló un modelo para estudiar los métodos de presentación de las gráficas estadísticas (Cleveland 1993). El modelo consiste básicamente en tres partes. En la primera de ellas se realiza una clasificación de la información mostrada en la gráfica según si ésta es cuantitativa o categórica. Por otra parte, para cada una de estas dos modalidades se analizan las dos maneras en las que la información es representada en la gráfica: como *información de escala* y como *información física*. La información de escala en variables cuantitativas se expresa mediante cifras con sus unidades correspondientes, mientras que en variables categóricas o cualitativas se utilizan nombres de categorías. La información física es aquella que queda una vez que se eliminan de la gráfica todas las etiquetas y nombres de las variables. Esta se expresa mediante diferentes categorías de elementos gráficos y sus posiciones relativas, lo que permitirá establecer relaciones entre ellos. Esta clasificación es coherente con la división en fases del proceso de lectura propuesta por Bertin, según la cual, en primer lugar se detectaban la invariante y los componentes, luego las

variables visuales que representaban a los componentes y, finalmente las correspondencias entre ellos (ver página 171).

La segunda parte del modelo consiste en una división del procesamiento visual de presentaciones gráficas en dos modalidades complementarias: *percepción de patrones* y *búsqueda en tabla*. El proceso de búsqueda en tabla está relacionado con la búsqueda de información de escala para conocer, por ejemplo, las variables que están siendo analizadas, mientras que la percepción de patrones tiene que ver con el reconocimiento de las cualidades físicas de los elementos gráficos con el fin de agruparlos y relacionarlos entre sí.

Finalmente, la tercera parte del modelo tiene que ver con la especificación de las operaciones visuales empleadas para llevar a cabo percepción de patrones y búsqueda en tablas, ya que cada uno de estos dos procesos se realiza en sucesivas fases. Así, en la búsqueda en tabla se efectúan tres operaciones distintas: detección de los símbolos presentes en la gráfica, agrupamiento de estos en categorías aislables del resto y estimación de las diferencias y relaciones entre ellos. Del mismo modo, la búsqueda en tabla se compone de las tres operaciones siguientes: barrido visual para fijar un punto en el eje horizontal o vertical, interpolación para estimar la distancia del punto al origen y, finalmente emparejar el valor con el tipo de variable.

Mediante este método Cleveland estudió diferentes modificaciones en las gráficas que podían mejorar su eficacia. De este modo propuso una serie de sugerencias, tales como la introducción de rejillas de referencia para facilitar la localización de los valores, el empleo de símbolos en las gráficas de nube de puntos que posean suficiente saliencia (de acuerdo con las teorías gestálticas) para poder

distinguir mejor unos de otros, o el empleo de fórmulas matemáticas orientadas a la optimización de la relación de tamaño (vertical/horizontal) de la gráfica.

FACTORES QUE AFECTAN A LA INTERPRETACIÓN DE GRÁFICAS

Uno de los principales objetivos de los estudios realizados sobre las gráficas ha sido identificar las razones por las cuales en ocasiones éstas son interpretadas de forma incorrecta. Por este motivo es importante determinar de qué manera los lectores interpretan las gráficas y los factores que pueden hacer que éstas sean más fáciles o difíciles de comprender.

Los autores que han investigado acerca de la comprensión de las gráficas han identificado tres procesos que tienen lugar durante su valoración por el usuario (Bertin 1983; Cleveland y McGill 1984; Cleveland y McGill 1985; Kosslyn 1989; Pinker 1990; Lohse 1993; Carpenter y Shah 1998). En primer lugar, éste debe codificar la información visual mostrada e identificar las características visuales más destacadas. Este proceso de codificación está influenciado tanto por los sesgos y limitaciones de nuestro sistema perceptual como por la forma en la que dicha información está agrupada (Carpenter y Shah 1998). En segundo lugar, deben relacionar dichas características visuales con las relaciones conceptuales que éstas representan (Bertin 1983; Kosslyn 1989; Pinker 1990). En este sentido influye la experiencia del lector y su conocimiento general sobre gráficas (Pinker 1990). En general, cuando una característica visual no evoca automáticamente una relación o hecho particular, la información será más difícil de comprender y los lectores pueden cometer un error en su interpretación (Larkin y Simon 1987; Kosslyn 1989; Pinker 1990; Cleveland 1993; Kosslyn 1994; Stenning y Oberlander 1995; Shah, Mayer y Hegarty 1999). Por último, el tercer proceso en la comprensión de las gráficas consiste en determinar el referente

de los conceptos que están siendo cuantificados y asociar estos referentes a las funciones codificadas (Bertin 1983).

Teniendo en cuenta estos procesos, hay tres factores que juegan un papel fundamental a la hora de determinar la interpretación de los datos realizada por los lectores: (1) las características visuales mostradas (gráficas de líneas o de barras, color o blanco/negro, etc.), (2) el conocimiento de esquemas y convenciones gráficas y (3) el contenido de la gráfica (por ejemplo edad vs. altura, tiempo vs. distancia) así como las expectativas y conocimientos previos sobre dicho contenido.

Características visuales

Respecto a las características visuales, destacan los siguientes elementos: el formato del gráfico, el color, las leyendas y etiquetas, así como la densidad de datos.

El formato del gráfico

El formato es uno de los factores que más influyen en la correcta interpretación de una gráfica y buena parte de los errores cometidos en el diseño de estas se debe a una mala elección de esta característica. A continuación se describen algunos de los tipos de formatos más habituales.

Formatos de dos dimensiones

Los gráficos de línea describen más fácilmente que los de barras las tendencias x-y, mientras que estos últimos enfatizan las comparaciones discretas (Carswell y Wickens 1987; Carswell, Emery y Lonon 1993; Shah *et al.* 1999; Zacks y Tversky 1999). Por otra parte, si se pretenden mostrar proporciones relativas, suelen ser más adecuados los gráficos de sectores, mientras que si son relevantes tanto los

valores absolutos como las proporciones, resultan más útiles los gráficos de barras divididas (Kosslyn 1994; Wilkinson 1999).

Formatos de tres dimensiones

El formato tridimensional puede utilizarse para mostrar las relaciones entre **tres variables**. Dicho formato es recomendable en aquellos casos en los que la integración de información es más importante que la información métrica exacta, ya que en ocasiones este tipo de formato puede ocultar parte de la información (Merwin, Vincow y Wickens 1994; Wickens, Merwin y Lin 1994).

La tercera dimensión en gráficas con **dos variables**, como por ejemplo los diagramas de barras en perspectiva, es utilizada habitualmente en libros de texto y en medios de comunicación. En principio toda característica adicional no informativa a menudo resulta inútil y puede distraer la atención de lo que se pretende representar. En este sentido, algunos estudios han encontrado una menor precisión en la lectura de los valores puntuales y en la comparación de datos en los formatos tridimensionales en relación con los bidimensionales (Zacks, Levy, Tversky y Schiano 1998; Fischer 2000). No obstante, los usuarios a menudo expresan su preferencia por este formato (Levy, Zacks, Tversky y Schiano 1996).

En consideración con el formato, existe un compromiso entre la capacidad de percibir con exactitud hechos cuantitativos específicos y la capacidad de extraer de manera más cualitativa lo esencial o las relaciones entre los datos. Una tabla, por ejemplo, permite extraer valores puntuales de manera exacta pero proporciona una menor información de tipo integrador (Guthrie, Weber y Kimmerly 1993). Por este

motivo, en ocasiones puede ser interesante utilizar varios formatos para comunicar el mismo dato, especialmente cuando los datos son complejos.

El color

El empleo del color resulta útil para agrupar elementos. Por ejemplo, pueden utilizarse colores distintos para niños y niñas en un diagrama de dispersión que muestre la altura frente a la edad.

Además, el uso de características relacionadas semánticamente, puede resultar beneficioso para facilitar la tarea de recuerdo (Brockmann 1991). Un ejemplo de esto es la utilización de colores significativos (rojo para temperatura caliente y azul para temperatura fría).

Sin embargo, el color no representa con exactitud información cuantitativa de manera precisa y puede incluso resultar engañoso cuando se utiliza para datos continuos. Por ejemplo, ciertos colores pueden hacer que se interprete como mayor o menor la visualización de contornos de puntos, influenciando que el lector pueda imaginarse estos puntos en tres dimensiones con mayor o menor facilidad. Por otra parte, los colores pueden ser interpretados como una representación de datos categóricos, incluso cuando lo que se pretende comunicar es una información continua (Phillips 1982).

Leyendas o claves versus etiquetas

La gráfica puede contener leyendas (claves) o directamente estar etiquetadas las líneas o barras con su referente. Las primeras requieren que el lector mantenga en su mente el referente, exigiendo una mayor demanda para la memoria de trabajo, por

lo que es preferible utilizar etiquetas directamente con su referente (Kosslyn 1994). Esta recomendación puede ser particularmente importante cuando se presentan gráficas a niños.

Densidad de datos

La densidad de los datos puede afectar también a la percepción de las gráficas. Así, los usuarios a menudo exageran mentalmente la magnitud de las correlaciones en los gráficos de puntos cuando existe una alta densidad de datos (Lauer y Post 1989). Esta exageración ocurre cuando la densidad percibida en la gráfica se incrementa, ya sea por acumulación de puntos o por la disminución en el tamaño de la gráfica.

Conocimiento sobre gráficas

El conocimiento previo y las expectativas afectan a la manera de codificar y de recordar dibujos y diagramas. Concretamente en el caso de las gráficas, los estudios sugieren que los lectores tienen un esquema de gráfica en el que la línea subtiende un ángulo de 45°, en vez de más empinado o más plano.

Otra expectativa que puede conducir a errores de interpretación es la de que la variable dependiente sea representada como una función del eje y en una línea grafica y que la variable causal o independiente sea representada como una función en el eje x. Si se presenta una gráfica que no sigue esta restricción es muy frecuente que se interprete de manera errónea (Gattis y Holyoak 1996).

Conocimiento sobre contenido

Diversos estudios han demostrado que las expectativas y el conocimiento previo acerca del contenido de las gráficas influyen en su interpretación (Lord, Ross y Lepper 1979; Shah y Hoeffner 2002). Esto sucede en mayor medida en sujetos que no

poseen experiencia en la visualización de gráficas, quienes a menudo no tienen los esquemas gráficos necesarios para vencer la fuerte influencia de su conocimiento previo. En el estudio de Shah y Hoeffner los participantes cometieron errores de manera sistemática cuando sus conocimientos previos no coincidían con la información contenida en la gráfica. Además, varias investigaciones han puesto de manifiesto que la estimación de la correlación entre variables está influenciada por las creencias previas sobre la relación entre dichas variables (Jennings, Amabile y Ross 1982; Freedman y Smith 1996).

Por otra parte, otros investigadores sugieren que se comprenden mejor las gráficas que representan conceptos como el tiempo, la posición o la distancia, frente a otros conceptos como la velocidad o la aceleración (Leinhardt, Zaslavsky y Stein 1990). Una posible explicación de que el tiempo sea más fácil de comprender que otras variables es que a menudo los conceptos empleados en los contextos de aprendizaje son variables dependientes del tiempo.

**PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO TEÓRICO PARA EL
ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS.**

PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS

1	NECESIDAD DE UN NUEVO MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LA IMAGEN CIENTÍFICA	193
2	DISCUSIÓN SOBRE TEORÍAS DE LA IMAGEN PREVIAS.....	194
3	DESCRIPCIÓN DEL MODELO.....	202
3.1	Los elementos morfológicos de la imagen.....	202
3.1.1	<i>Componentes de la forma: relleno y trazo</i>	203
3.1.2	<i>Cualidades o características del relleno y del trazo</i>	206
3.1.3	<i>Jerarquía de las cualidades de la forma</i>	218
3.2	La sintaxis de la imagen	221
3.2.1	<i>Tipos de relación entre formas</i>	223
3.2.2	<i>Efectos derivados de la combinación de formas</i>	224
3.3	Temática o significado de la imagen.....	226
3.3.1	<i>La composición</i>	227
3.3.2	<i>El contexto</i>	228

PROPUESTA DE UN NUEVO MODELO TEÓRICO PARA EL ANÁLISIS Y ELABORACIÓN DE IMÁGENES CIENTÍFICAS.

1 NECESIDAD DE UN NUEVO MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LA IMAGEN CIENTÍFICA

Existen diferentes razones que hacen necesario un modelo específico para el análisis y creación de imágenes científicas. En primer lugar, la importancia de este tipo de imágenes y la necesidad de cumplir, como ya se comentó anteriormente, con determinados requerimientos de objetividad, precisión, rigor, etc., hacen imprescindible el análisis riguroso de las diferentes estrategias de representación de conceptos que actualmente son empleadas y de las que podrían emplearse en el futuro. Para ello, es necesario apoyarse en un modelo teórico común que permita comparar los resultados de diferentes estudios y que permita lograr una razonable unificación del lenguaje gráfico científico. Pese a que el citado modelo debe ser aceptado por consenso, parece oportuno realizar distintas propuestas para el mismo. El modelo que se presenta a continuación cuenta con la ventaja de haber sido previamente validado mediante un extenso estudio incluido en esta tesis y realizado sobre una muestra de 3894 imágenes (Estudio I, pág. 235), que ha servido para identificar las diferentes modalidades de conceptos representados gráficamente en las disciplinas científicas que estudian los seres vivos (ver Tabla 7 en página 242), así como las combinaciones de recursos empleadas para ello (pág. 244 a 323).

2 DISCUSIÓN SOBRE TEORÍAS DE LA IMAGEN PREVIAS

Analizando las diferentes teorías relativas a los elementos de la imagen estática aislada, en primer lugar resulta llamativa la amplia **discrepancia en cuanto a los elementos de la imagen considerados por los diferentes autores**, existiendo considerables divergencias relacionadas con la inclusión o no de algunos de ellos y la clasificación de los mismos, así como con la terminología empleada (ver página 120-170).

Estas teorías a menudo se habían centrado, por un lado, en elementos como el punto, la línea o el plano, que por su infinito potencial plástico se volvían inmanejables, quedando sin definir las aplicaciones específicas que en cada caso podía hacerse de cada uno de cara a la representación de un determinado concepto. De este modo **se dejaba toda la responsabilidad al ilustrador acerca de cómo combinar exactamente dichos elementos**. Como mucho, en estas propuestas se describían las funciones genéricas que estos podían cumplir y, en el mejor de los casos, anecdóticamente se exponía algún ejemplo concreto, pero **nunca se había realizado un análisis exhaustivo y sistemático sobre un tipo específico de imágenes como el que se ha desarrollado en esta tesis sobre ilustraciones científicas**.

Por otra parte, también era frecuente la consideración como elementos de la imagen de aspectos que en realidad pertenecen a categorías diferentes, tales como cualidades de la forma (color, textura, figura, etc.) o conceptos representados con ella (iluminación, ritmo, movimiento, etc.), creando una gran incoherencia que ha dificultado en buena medida la comprensión de los mecanismos implicados en la codificación de imágenes. A menudo incluso se han confundido cualidades de la

imagen con propiedades de los objetos representados, especialmente en relación con el volumen, el tamaño y la textura (del objeto real), no teniendo en cuenta que en una imagen éstas son meras ilusiones.

Otra cuestión diferencial de este trabajo en relación con estudios anteriores consiste en el tipo de imagen analizada. Tal como se puede constatar en la revisión realizada, existe una **importante tendencia de los autores que han teorizado sobre la imagen a utilizar como modelo de estudio las obras pictóricas**. En muy pocas ocasiones se ha profundizado en los recursos empleados en otro tipo de imágenes como las científicas, las publicitarias o el cómic, por dar algún ejemplo. Sin embargo, **la imagen científica cuenta con una importante ventaja respecto a la pintura artística para su análisis**, que tiene que ver con su objetividad. En la imagen científica los recursos empleados tienen la finalidad de representar determinados conceptos de la forma más neutral y exacta. De este modo, se simplifica el trabajo analítico al establecerse una correspondencia más firme entre los recursos y los conocimientos representados, evitando la enorme diversidad de conexiones posibles y reduciendo también las potenciales ambigüedades. Por el contrario, la obra pictórica, debido a su alta carga poética, constituye uno de los modelos más complejos de análisis para el estudio de la imagen. Esto ha provocado con frecuencia la formulación de interpretaciones contradictorias acerca del significado sugerido por el uso de una determinada combinación de recursos y ha dado lugar en repetidas ocasiones a opiniones muy personales que han dificultado el análisis objetivo de la imagen. De hecho, el lenguaje artístico se caracteriza por su intensa subjetividad, su carácter a menudo paradójico y polisémico, por su constante evolución morfológica y, en definitiva, por la búsqueda de nuevas formas de expresión y lugares no explorados, donde más allá de poder establecerse reglas estables para su interpretación, estas

son constantemente burladas por el artista. Por tanto, basarse en las obras pictóricas para analizar el lenguaje gráfico resulta tan inapropiado como si para analizar el lenguaje verbal utilizásemos como modelo la poesía, tan alejada de los usos cotidianos, mucho más fácilmente objetivables por su mayor pragmatismo y estabilidad.

Por otra parte, considero que **la principal dificultad para definir los elementos básicos de la imagen es que estos no existen como tales sino que son una construcción mental cambiante según las circunstancias.** Esto hace imposible determinar con absoluta objetividad y de manera definitiva cuáles son las unidades elementales de una composición gráfica, debido a que nuestra mente considera en cada momento qué debe ser considerado objeto compuesto y cuáles son sus partes constituyentes. Así, por ejemplo, cuando analizamos una composición en la que existen diversas figuras geométricas, consideramos como unidades a cada una de las mismas. Si nos paramos a analizarlas por separado, podemos discriminar formas más pequeñas tales como la línea de contorno y el relleno. Estos últimos podrían también ser analizados para descubrir, por ejemplo, que poseen una cierta textura. Podríamos, por tanto, focalizar nuestra atención en dicha textura para descubrir, quizás por medio de una lupa, las pequeñas formas que la constituyen. Este ejemplo sirve para ilustrar un fenómeno que constantemente está teniendo lugar durante el proceso perceptivo y que consiste en la focalización de nuestra atención sobre un determinado nivel estructural de la realidad. Esto tiene lugar de forma parecida al proceso de acomodación ocular que sirve para enfocar unos objetos en detrimento de otros que quedarán fuera de foco. Por tanto, dependiendo del nivel estructural en el que se esté focalizando nuestra atención, consideraremos como unidades a unos elementos u otros. Este problema ya fue advertido por el Grupo μ quienes propusieron

que el significante podía ser estructurado a partir de unas entidades que pueden ser divididas en subentidades y también agruparse en supraentidades. Así, ponían el ejemplo de una cara, que puede como entidad descomponerse en subentidades como la nariz y los ojos o reunirse con otras entidades como el cuello, el tronco y las extremidades para dar lugar a un cuerpo humano (Grupo μ 1993).

El problema se presenta como algo casi irresoluble, ya que, el deseo de establecer unos conceptos estables que permitan su manejo tanto por los artistas plásticos como por los investigadores, se ve contrarrestado por la **naturaleza dinámica del sistema perceptivo** y la enorme flexibilidad de la mente a la hora de considerar el objeto de su atención. Esto hace que, cuando consideramos una escena, especialmente si existen situaciones ambiguas, nuestro foco de interés oscile de unos elementos a otros, modificando su orden jerárquico. Esta es la razón de que una forma pueda actuar como figura compleja o como un punto según la importancia que le sea otorgada por el espectador. Dicha relevancia dependerá del contexto espacio-temporal en que la forma se encuentre, pero también de los intereses del espectador, que pueden variar con rapidez debido a su voluntad exploradora, cuyo objetivo principal es otorgar el significado más plausible a todo aquello que ve. De esta forma, la mente humana trasciende continuamente las pretendidas fronteras que tratamos de establecer mediante esquemas de clasificación de los elementos de la imagen, convirtiendo un punto en un círculo o una línea gruesa en un rectángulo alargado simplemente desplazando el foco de atención hacia su figura particular. Por este motivo, parecería lógico establecer un esquema dinámico para describir un fenómeno de naturaleza tan cambiante. No obstante, la necesidad de crear un esquema práctico que permita crear y combinar los diferentes elementos gráficos con el fin de expresar diferentes conceptos, obliga en cierto modo a decantarse por una definición concreta

de dichos elementos. Por tanto, no quedando más remedio que definir una estructura estable para un fenómeno inestable, se ha optado por determinar los elementos básicos de la imagen desde el punto de vista menos subjetivo posible, considerando como dichos componentes básicos aquellos que con mayor probabilidad serían considerados como tales por la mayoría de los sujetos. Al revisar las teorías de percepción de los objetos, ya se comentó la importancia que el cálculo heurístico posee para la interpretación de la realidad. Éste permitía definir el suceso más probable durante la exploración de una escena. Teniendo en cuenta que nuestro sistema perceptivo no es perfecto y que se basa en el análisis probabilístico, nuestro esquema debe recoger igualmente aquellos elementos que consideramos más verosímiles en cada caso. Si, como ya se ha visto, nuestro sistema visual está codificado para reconocer objetos, entonces, los elementos básicos de la imagen deben estar en consonancia con dicha tendencia natural. No obstante, si consideramos los objetos directamente como las unidades elementales de la imagen, nos topamos inmediatamente con la dificultad de que casi todos los objetos constan de diferentes partes reconocibles y nombrables (por ejemplo, la rueda de un coche), que, por tanto, pueden ser consideradas a su vez como objetos independientes. Si nos vamos al otro extremo y seleccionamos los grafismos básicos (punto, línea y plano) como elementos esenciales, entonces nos encontramos con otro problema y es que este esquema obliga a una excesiva fragmentación de la imagen que resulta de poca utilidad práctica. Es así como se concibe el concepto de forma como elemento básico de una imagen estática aislada. Una **forma es el equivalente gráfico de una forma real** (por ejemplo, la cara lateral de un cubo, la escama de un pez, una sombra, un pétalo o el pliegue de una tela). Hay que tener en cuenta que estos a su vez pueden ser descompuestos por el ilustrador en formas más pequeñas, en cuyo caso, éstas podrían pasar a ser las formas elementales en tanto que pudieran ser identificables.

En el caso de no ser identificables con formas reales independientes, pasarían a ser textura, tal como sucede, por ejemplo, con los múltiples planos que se producen al pintar un objeto curvo sin fusionar las pinceladas. En algunos casos puede ocurrir también que el degradado de color que define el volumen de un objeto real, puede ser sustituido por varios planos de color relacionados y en progresión. Esto es un artificio esquemático que se basa en la simplificación de una cualidad real de los objetos, es decir, del degradado producido por la iluminación de sombras. Para ello, el ilustrador puede eliminar las áreas de transición (donde el degradado es más acusado) que unen los planos de luces o sombras y sustituirlas por planos de color homogéneo, que seguimos reconociendo como parte de un conjunto debido a su parecido y a su cambio progresivo (Figura 80). Cada uno de estos planos tiene el mismo significado que un degradado de color y por tanto no tienen el valor de forma sino de una de sus cualidades: el color. No obstante, cuando este efecto es muy marcado, la representación se torna ficticia y el objeto representado sugiere la existencia real de facetas en su superficie.

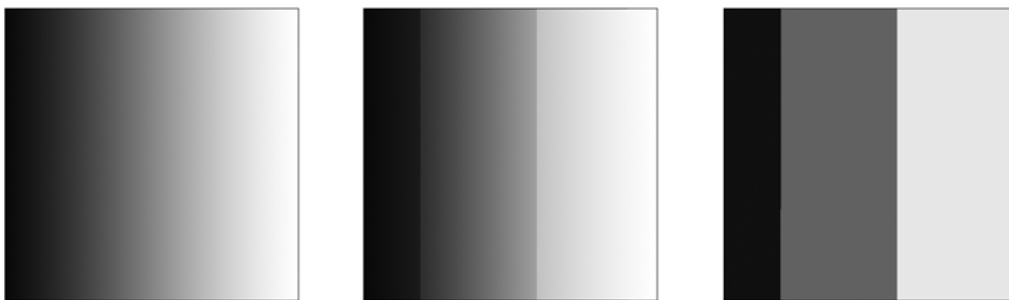


Figura 80: Proceso de esquematización de sombras, primero eliminando áreas de transición rápida y luego igualando el color en cada área.

Un asunto de especial interés está relacionado con la interpretación de las sombras arrojadas sobre un objeto por otros objetos interpuestos entre él y el foco de

luz. En este caso, y sobre todo cuando la iluminación es muy dura y los bordes de la sombra son muy contrastados, la sombra puede ser malinterpretada y confundirse con una forma independiente. No obstante, esto no suele suceder en la realidad pues nuestro sistema perceptivo parece estar preparado para diferenciar los bordes de reflectancia de los bordes de luminancia (ver página 95). Una explicación puede ser que el sistema visual está configurado para reconocer formas cerradas coherentes y que podemos diferenciarlas de otras formas superpuestas a ellas (que a su vez tienen una coherencia interna) debido a que ambas son discrepantes entre sí. Por ejemplo, la sombra arrojada sobre un rostro y dicho rostro poseen lógicas internas diferentes y, por tanto, son interpretadas como formas superpuestas. Esto mismo sucede con el diseño de la superficie de muchos animales (las rayas de una cebra o las manchas de un guepardo). Otra cuestión diferente es la aproximación que el dibujante hace a esas formas, ya que con frecuencia suele prestar más la atención a los bordes de iluminación y de reflectancia (del color de los objetos) que a los objetos que representa, por lo que sus unidades de trabajo son las masas de color y las líneas de contorno. Sin embargo, como el lector no interpreta la imagen de esa manera sino mediante la integración de formas reconocibles superpuestas, finalmente el ilustrador debe dejar claras las claves necesarias para la correcta lectura de la imagen.

Así pues, las formas son elementos subjetivos, siendo nuestra mente la que decide en cada momento qué es lo que actúa como forma y qué es lo que se comporta como un componente de la misma, por ejemplo, la textura. Es por tanto, necesario realizar más estudios encaminados a la determinación de las claves que participan en este proceso con el fin de poder controlar la manera en que van a ser interpretadas por el observador. Pese a que en nuestro entorno existen infinidad de situaciones en las que una imagen se muestra confusa y presenta dificultades para identificar las

formas elementales y sus componentes, en ilustración científica resulta fundamental evitar las posibles ambigüedades y reducir al mínimo la probabilidad de confusión. Por este motivo, resulta especialmente necesario establecer qué parámetros de la forma hacen posible su consideración como tal y dónde se encuentran los límites a partir de los cuales dicha forma puede perder su condición y pasar a ser considerada como un objeto compuesto por varias formas o, por el contrario, como un componente subordinado a otra forma. Dicho estudio sobrepasa los objetivos de la presente tesis, por lo que en este caso se ha optado por realizar un análisis intuitivo de las diferentes ilustraciones con el fin de determinar sus elementos esenciales y las cualidades que poseen. Esto permitirá definir a su vez las relaciones de sentido que se producen a partir de las posibles combinaciones entre ellos.

En definitiva, **el esquema que se presenta a continuación surge como respuesta a las dificultades encontradas para aplicar en el ejercicio práctico de la ilustración las teorías existentes acerca de la imagen. Por este motivo, se ha procurado realizar un acercamiento lo más pragmático posible a este problema, tratando de establecer unas pautas que sirvan de ayuda a los ilustradores para la creación de imágenes que representen de la manera más exacta posible aquellos conceptos que desean describir.**

3 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

A continuación se expone un posible modelo teórico para la interpretación y elaboración de imágenes científicas. El esquema teórico propuesto no pretende ser una aproximación teórica más entre las muchas que se han realizado en torno a la gramática de la imagen. Su creación se debe a una finalidad concreta, que es la de definir las pautas establecidas para la representación de conceptos en ilustración científica. Por tanto, a diferencia de lo que sucede con otras teorías en relación con la imagen, el esquema formulado posee un marcado carácter práctico que permite su directa aplicación en el análisis de imágenes científicas y que puede ser de utilidad para los ilustradores en el proceso de creación de las mismas. La adecuada identificación de los elementos básicos de la imagen, así como de sus cualidades resulta determinante en este sentido.

3.1 LOS ELEMENTOS MORFOLÓGICOS DE LA IMAGEN

En primer lugar, tal como ya se ha anunciado, **se ha considerado a la forma gráfica o forma como el elemento básico de la imagen plana**. En este sentido, entiendo la **forma gráfica como el conjunto de las cualidades que pueden ser percibidas mediante la visión** en las condiciones ideales de observación, entre las cuales se encuentran el color, la dimensión o tamaño, la textura, el contorno o figura, la posición y la orientación. Resulta importante considerar unas condiciones ideales de observación ya que toda imagen puede ser analizada en situaciones diferentes a aquellas para las que fue creada, destacando visualmente características que su creador no pretendía mostrar. Eso es lo que sucede, por ejemplo, cuando se ilumina con luz rasante un papel rugoso que contiene una ilustración, lo que origina una

radical acentuación de las sombras producidas por el relieve del papel. De igual forma la observación mediante una lupa o con otros dispositivos de aumento de la imagen permite contemplar detalles inapreciables a la exploración visual y que pueden ser ahora identificados como formas independientes, nuevamente lejos del deseo del ilustrador.

Las formas pueden adoptar diferentes aspectos en virtud de las cualidades que éstas poseen. Dichas características (figura, color, textura, tamaño, posición y orientación) suelen englobarse a menudo dentro de los denominados “Elementos de la imagen”, **pero no actúan realmente como unidades básicas sino como particularidades de las verdaderas unidades elementales o formas.** No parece lógico, por tanto, considerar a estas cualidades como elementos de la imagen pues sería tan irracional como definir la masa como un elemento del átomo en lugar de considerarla una condición propia e inseparable de las partículas que lo constituyen.

Por otra parte, tampoco podemos considerar como elementos de la imagen fenómenos como la iluminación, la dinámica, el espacio, la temporalidad, etc. Estos surgen en realidad como producto de una composición adecuada de las formas representadas con la cual se sugiere la existencia de una fuente de luz que incide sobre las formas, la profundidad espacial, la tensión dirigida (ver Arnheim), etc. Serían cualidades emergentes de la imagen que se producen como consecuencia de una adecuada selección y combinación de elementos (formas). Se trata, al fin y al cabo de ilusiones o efectos.

3.1.1 COMPONENTES DE LA FORMA: RELLENO Y TRAZO

Toda forma tiene una apariencia física que puede ser captada mediante nuestros sentidos y por otra parte está situada en un contexto espacial y temporal. La

representación gráfica de un objeto real supone una abstracción mediante la cual una forma tridimensional es sustituida por una forma bidimensional. Con esta finalidad se emplean numerosas técnicas y recursos plásticos que tratan de reproducir las sensaciones que surgen de la percepción del objeto en la realidad, destacando básicamente dos de ellas. En primer lugar, uno de los métodos más empleados consiste en la reproducción del modelo mediante la creación de diferentes planos que representan las formas básicas en las que éste se puede descomponer. Habitualmente, estos planos quedan separados de otros adyacentes por una línea de contorno invisible que se aprecia debido a la diferencia de color y textura entre ellos, fenómeno que también sucede durante la visión de objetos reales. No obstante, habitualmente este procedimiento es complementado o incluso sustituido por una segunda técnica conocida como dibujo de trazo o de línea. Así, uno de los principales procedimientos que se han venido utilizando desde la prehistoria para describir gráficamente un objeto consiste en la creación de un trazo de contorno, que puede estar o no relleno de color. El trazo de contorno posee una enorme importancia para la ilustración debido a que permite representar volúmenes con una enorme economía de medios. Su función principal es la de definir el límite de una figura, para lo cual éste se dispone a lo largo de todo su contorno sustituyendo visualmente aquella línea imaginaria que constituye la silueta externa del objeto real y que separa su figura del fondo. Así pues, esta línea supone un atajo para describir el contorno de los objetos, que de otra manera tendría que representarse mediante una mancha. Además, esta línea permite establecer modulaciones en el trazo que matizan su aspecto, de forma equivalente a cómo puede hacerse mediante gradaciones cromáticas o tonales de la mancha. Dichas modulaciones de la línea en dibujos figurativos permiten representar gráficamente las variaciones de contraste entre la figura y el fondo o entre dos figuras. Así, cuando la línea es gruesa indica un contraste mayor y cuando es fina indica un

contraste menor. Esto suele aprovecharse también para crear sensación de profundidad, ya que los objetos cercanos suelen tener más contraste entre sí que los lejanos y por ello suelen representarse con líneas más gruesas.

La línea de contorno no tiene que rodear necesariamente toda la forma. En primer lugar, la modulación puede ser tan intensa que haga desaparecer la línea en determinadas zonas. En segundo lugar, dicha línea puede rodear una forma que es una prolongación, apéndice o lóbulo de otra, por lo que su línea de contorno se continuará con ella y no se cerrará del todo. Además, en determinadas posiciones, su trazo puede solaparse con otros que circundan otras partes de la misma forma, generando líneas de contorno por dentro de la forma general, fenómeno que suele denominarse traslapo (Figura 81).

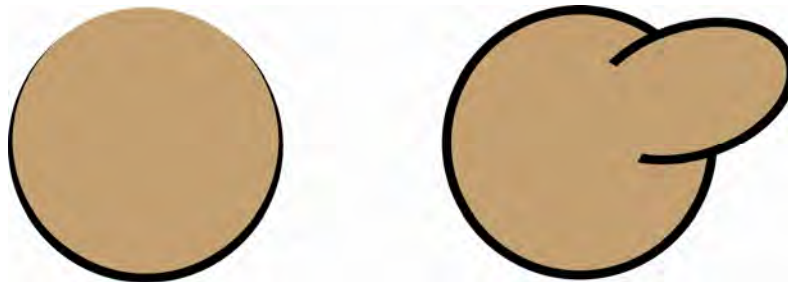


Figura 81: A la derecha, línea de contorno modulada que desaparece en la parte superior de la forma. A la derecha, línea de contorno con traslapo que rodea a dos formas que se encuentran unidas entre sí y están parcialmente solapadas.

La importancia del trazo de contorno es tal, que los actuales programas de diseño asistido por ordenador lo contemplan, junto al relleno, como una de las dos características básicas que deben configurarse durante la creación de formas. Por todas estas razones, y debido al carácter esencialmente pragmático de este esquema, se ha considerado que **los componentes elementales que determinan la apariencia de la forma son el relleno y el trazo.**

3.1.2 CUALIDADES O CARACTERÍSTICAS DEL RELLENO Y DEL TRAZO

Los dos componentes considerados para las formas, relleno y trazo, poseen a su vez una serie de cualidades que los caracterizan: figura, color, textura tamaño, posición y orientación. Estas cualidades ofrecen un enorme repertorio de posibilidades mediante su combinación. La variación de cualquiera de ellas supone la introducción de un matiz semántico en la ilustración, que en muchos casos resulta determinante para su correcta interpretación.

Las características aquí contempladas coinciden en su mayor parte con las que Jacques Bertin estableció con otra intención para las denominadas variables retinianas (ver página 172). Por otra parte, son también parcialmente coincidentes con los elementos de la imagen considerados por Wucius Wong (ver página 123), aunque en este caso no son consideradas como elementos sino cualidades de los mismos (de las formas). Finalmente, también hay que reconocer el paralelismo con las variables propuestas por Fernand de Saint-Martin para los coloremata, es decir, las unidades elementales de su *Semiología del lenguaje visual*. Sin embargo, no comparto en absoluto la consideración de las fijaciones oculares como unidades elementales de la imagen que este autor propone, ya que dichas fijaciones constituyen un método de exploración que, en todo caso, conduciría al reconocimiento de lo representado mediante la reconstrucción de las verdaderas unidades de sentido de la representación (ver página 125).

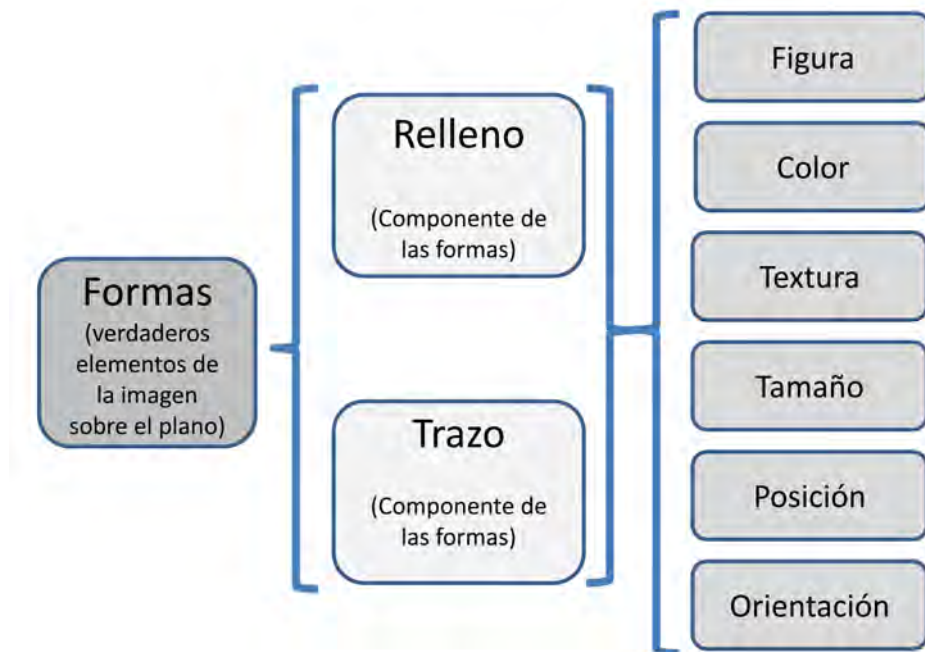


Figura 82: Componentes de las formas y sus cualidades

Para representar gráficamente un objeto es necesario traducir al espacio plano todos aquellos aspectos que la definen, como su forma volumétrica, su color, textura, tamaño, posición y orientación espacial. Éstas son características reales del modelo y por tanto elementos representables, por lo que deben diferenciarse conceptualmente de las cualidades ya comentadas de las formas gráficas empleadas para su representación en el plano (Tabla 2).

La figura es habitualmente el rasgo más significativo de una forma. La Real Academia Española define este término, en su primera acepción, como la “forma exterior de un cuerpo por la cual se diferencia de otro”. No debe, por tanto, confundirse figura con forma, ya que la primera implica únicamente un aspecto concreto de la segunda. La forma de un objeto real describe su volumen apreciable desde el exterior y también las cualidades texturales, cromáticas, de posición, orientación y tamaño. La forma de un gráfico hace alusión a toda la superficie del mismo que puede ser

percibida desde el exterior y eso incluye también al área encerrada por su contorno, incluyendo sus cualidades cromáticas, texturales, etc.

Tabla 2: Cualidades del objeto real y de su representación.

Cualidades del objeto	Cualidades de la representación
Volumen (tridimensional)	Figura bidimensional (proyección en el plano)
Color real del objeto (prácticamente siempre degradados de color)	Color representado (color plano, degradado de color, color por planos)
Textura real (tridimensional)	Textura representada (bidimensional)
Tamaño real o natural	Tamaño a escala
Posición en el espacio	Posición en el plano
Orientación en el espacio	Proyección de la forma (se traduce en figura concreta con una determinada orientación)

Una cuestión interesante es la se refiere al límite de la forma. Pensando en una figura ideal en la que hay un trazo y un relleno que definen una forma reconocible, parece bien sencillo determinar sus fronteras, que en este caso coincidirían con la periferia del trazo. No obstante, el problema se vuelve más complejo cuando el trazo no coincide con el contorno del relleno y o bien es sobrepasado por éste o queda separado y por fuera de él. Además, existe la posibilidad de que una forma gráfica esté compuesta por varios fragmentos que son fusionados mentalmente entre sí merced a los principios de Asociación y de Cierre correspondientes a la Ley de la buena forma propuesta por los investigadores de la Gestalt. Dichos fragmentos no poseen significado propio o, en caso de tenerlo, no guarda relación estructural con la forma que componen, actuando entonces como textura. El asunto de las fronteras de

la forma adquiere aún una mayor complejidad en el caso de las composiciones abstractas, en la que la pérdida de un referente de la realidad induce al observador a vagar de unas zonas a otras buscando sentido a lo que ve. Este tipo de composiciones poseen una mayor ambigüedad y, por tanto, el sujeto contemplará como formas unos u otros elementos según el momento y se borran en gran medida los límites entre lo que puede ser forma y textura y figura fondo. No en vano, en este fenómeno radica en parte el interés del arte abstracto. Sin embargo, en ilustración científica, la necesidad de reducir al mínimo los posibles factores de confusión, obligan a huir en la medida de lo posible de dichas ambigüedades, definiendo las formas y tratando de acotar los significados desprendidos de su combinación de manera inequívoca mediante el uso de recursos a menudo reiterativos.

Dentro de las posibles figuras que puede adoptar una forma, se ha decidido considerar dos tipos diferentes en virtud de su función. Desde este punto de vista, existen formas destinadas básicamente a la representación de elementos reales o imaginarios, mientras que otras formas son creadas con el fin de modificar el significado de las anteriores, ya sea indicando una acción sobre ellas o relacionándolas entre sí. El ejemplo más frecuente de esta segunda categoría lo constituyen las flechas, utilizadas de forma constante en ilustración científica, no para representar un objeto determinado sino para expresar conceptos o acciones referidos a otras formas que sí representan objetos. En el esquema propuesto se han denominado formas principales a las primeras y formas modificadoras a las segundas.

El color es junto con la figura, el factor más determinante para el reconocimiento de una forma. El color apreciado en un objeto depende a su vez de la composición química y estructura de los materiales que forman parte de él y también de las cualidades de la iluminación (luz incidente y reflejada) en el momento

considerado. Éste puede ser representado mediante degradados de color o mediante color plano, ya sea mediante un solo color o mediante varios planos de color (relacionados y ordenados según sus cualidades cromáticas).

Como se ha señalado anteriormente, el color tiene una naturaleza dual, siendo sus dos cualidades principales la tonalidad y el cromatismo. La tonalidad en un documento gráfico resulta esencial para la discriminación de formas por contraste tonal, de manera similar a como nuestro sistema perceptivo visual lo hace en el medio que nos rodea. Además, los cambios de tonalidad de las formas que aparecen en una imagen pueden sugerir el efecto de uno o más focos de luz que bañan los objetos representados, generando una intensa sensación de volumen y profundidad espacial.

Por otra parte, el cromatismo contribuye también a discriminar formas por contraste cromático y en menor medida a sugerir esquemas de iluminación que contribuyen a la percepción espacial. El cromatismo es esencial para la caracterización de una forma en un determinado contexto, permitiendo por ejemplo reconocer como una naranja un elemento de figura circular situada sobre la representación de un árbol cuando está pintada de ese color. Así, en ilustración científica, la información aportada por el color puede ser de gran relevancia cuando se quieren representar modelos que poseen una figura similar en la realidad, como por ejemplo dos pájaros de la misma familia.

En virtud de la presencia o no de variaciones tonales o cromáticas en el interior de la forma considerada, se ha establecido una diferenciación entre color plano (único o múltiple) y color degradado. Estos dos tipos de color se corresponden con las principales categorías empleadas en los programas de diseño gráfico y también se

ajusta a la apariencia de los planos de color aplicados mediante las diferentes técnicas tradicionales.

Además, es posible establecer numerosas clasificaciones del color en virtud del valor semántico que estos poseen (como la diferenciación entre colores cálidos o fríos), por lo que es preciso también analizar el papel que éstas pueden tener en la creación de matices de significado por medio del color.

La textura de una forma gráfica posee importantes funciones que conviene resaltar. En primer lugar, se constituye como uno de los elementos más influyentes para el cálculo de la distancia a la que se encuentran los objetos y su tamaño y también tiene una importancia destacada en la percepción del volumen, así como para la separación de figuras en contacto o superpuestas y para la disgregación entre figura y fondo. Por otra parte, resulta fundamental para determinar visualmente la naturaleza de los materiales constituyentes de los objetos representados. En ocasiones, se puede emplear la textura como elemento decorativo, introduciendo una trama que no tiene que ver con el material del cual está compuesto un objeto ni con el modelado virtual de un volumen en el espacio plano. Finalmente, la textura puede tener como misión resaltar el esquema de iluminación de la imagen.

En función de la principal intención con que se utilice en una ilustración, se han establecido dos principales grupos de textura: representativa y no representativa.

El primero de estos dos grupos se refiere a aquellas texturas creadas por el ilustrador con la intención de reproducir la apariencia física del modelo. Está constituido por dos tipos de textura: material y modeladora.

He denominado textura material a aquella que tiene como objetivo reproducir las características de la superficie del objeto representado. La textura real del objeto depende de la composición química y disposición estructural de los materiales que lo forman. Ésta tiene un componente volumétrico y otro cromático que suelen ser representados gráficamente mediante formas de pequeño tamaño, trazadas individualmente o mediante métodos de arrastre, estampación, etc., que aplican los pigmentos de forma heterogénea. Esta textura puede estar sintetizada o representarse con todo detalle. Por lo general, la textura correspondiente al material suele ser más manifiesta en las zonas de transición entre luces y sombras, ya que es la región donde la luz incide de una forma más tangencial a la superficie del objeto reproducido.

Por otra parte, entiendo por textura modeladora aquella que el ilustrador ha creado con finalidad de generar sensaciones de volumen, ya sea mediante la dirección del trazo que pretende reflejar la curvatura de la superficie en cada punto o mediante la variación de la densidad de la trama que pretende reflejar los cambios de iluminación en cada punto. Este tipo de trama puede no tener relación formal con la textura material, actuando de una forma independiente. No obstante, también puede interrelacionarse con ella, fusionándose o imitándola.

Tabla 3: Tipos de textura según la función que realizan

Representativa	Material
	Modeladora
No representativa	Decorativa
	Diferenciadora

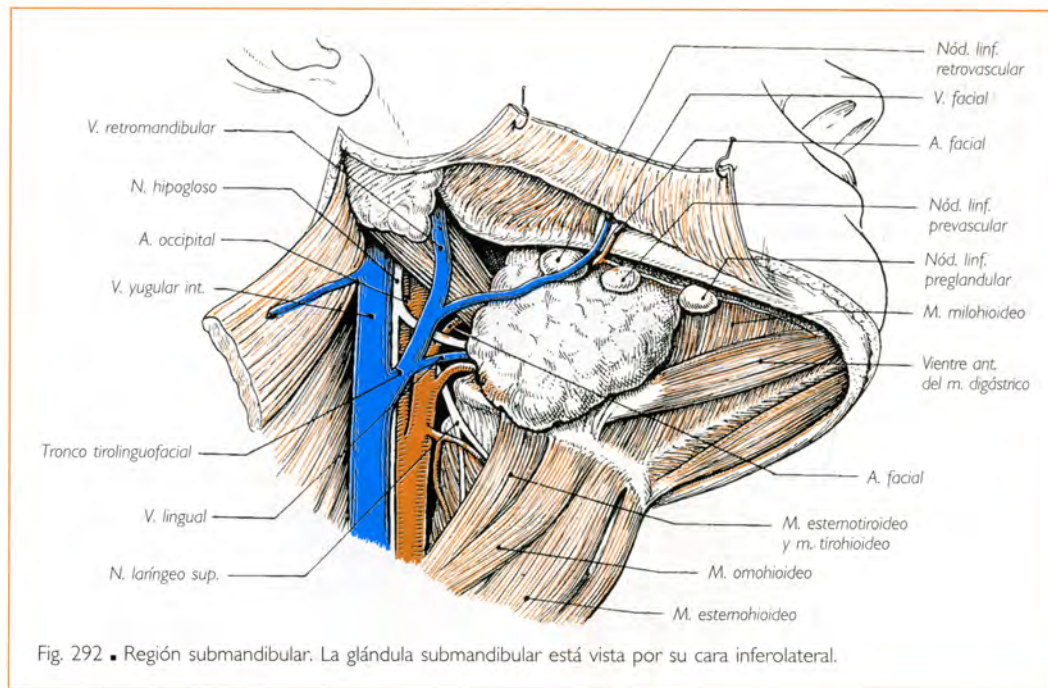


Figura 83: Textura que actúa al mismo tiempo como modeladora (definiendo los volúmenes) y material (describiendo la composición y estructura de las materias representados) (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

El segundo grupo de textura considerado, denominado textura no representativa hace referencia a aquella que no tiene la intención de recrear el aspecto del modelo, sino que se crean con una finalidad decorativa o para diferenciar unos elementos de otros. La textura decorativa o estética tiene, como su nombre indica, una función principalmente ornamental. No tiene que guardar relación alguna con el volumen del objeto representado ni con el material del que está compuesto. Suele estar constituida por un motivo que se repite por toda el área de relleno de la forma. El motivo puede ser una forma reconocible o no. No obstante, este tipo mantiene muchas de las características de las texturas representativas, permitiendo, por ejemplo distinguir el objeto portador de la misma de otros objetos diferentes o intuir la distancia a la que se encuentra del espectador mediante la comparación del tamaño de su textura con la de otros objetos. Por último, la textura diferenciadora es aquella que, no

teniendo parecido formal con la del modelo, permite discriminar unos elementos de otros en la ilustración. Esto la distingue de la textura material, que, aunque también permite distinguir unos objetos de otros, lo hace basándose en su aspecto natural. No obstante, hay que indicar que una textura no representativa puede tener ambas intenciones a la vez, decorativa y diferenciadora.

Por otra parte, en función de los materiales y técnicas empleados para la ilustración se han establecido los siguientes tipos de texturas: debida a la técnica, debida al soporte y debida al medio. Por un lado, la textura debido a la técnica depende del procedimiento empleado. Dentro de este grupo estarían las texturas generadas por la utilización de dispositivos de registro y reproducción tales como la cámara fotográfica (analógica o digital), escáner, impresora, etc., y también las texturas debidas al empleo de técnicas de grabado, dibujo, pintura, etc. (por ejemplo, la huella de una rulina, de un pincel o de una barra de pastel). Por otra parte, la textura debida al soporte depende del material que lo constituye (papel, madera, lino, etc.) y de su organización estructural (contrachapado, aglomerado, tela, etc.). Finalmente, la textura debida al medio es aquella que se produce como consecuencia del uso de diferentes preparaciones de los pigmentos (por ejemplo, óleo, acuarela o barra de carbón), de los barnices, etc. Pese a que muchas veces la textura debida a los materiales y a las técnicas no tiene como objetivo reproducir la apariencia del modelo sino que tiene una intención estética, en ocasiones pueden también ser utilizadas con este fin. Tal es el caso de la elección de un papel rugoso para el dibujo de un objeto de superficie irregular.

La textura debida a la técnica de reproducción de la ilustración se añade a la textura que posee el original, ya sea la creada por el ilustrador para cada forma o la registrada por un dispositivo de captura de imagen a partir del objeto real. Finalmente,

dicha textura permite identificar en muchos casos el método de reproducción empleado, aunque esto no suele ser un objetivo prioritario en la ilustración científica.

Tabla 4: Tipos de textura según los materiales y técnicas empleados

Debida a la Técnica	Dispositivos de registro (cámara de fotos, escáner, etc.)
	Pintura, Grabado, Dibujo, etc.
Debida al Medio	Grafito, acuarela, óleo, etc.
Debida al Soporte	Papel, tela, cartón, etc.

Una última cuestión de interés en relación a la textura es la que tiene que ver con la discriminación entre figura y textura. Así, se ha escrito mucho acerca de la distinción entre figura y fondo, pero quizás hacen falta más investigaciones que aporten información sobre los mecanismos de discriminación entre figura y textura, es decir, acerca de cuándo una figura pasa a ser considerada textura y viceversa. Si la separación entre fondo y figura establece las diferencias entre una forma y aquello que la rodea y es externo a ella, la distinción entre figura y textura marca las barreras entre la figura y aquellas formas que se encuentran en su interior. Este es un elemento clave para la comprensión de la percepción visual, ya que si no hiciésemos continuamente esa separación entre las formas y sus texturas, jerarquizando la información percibida, ésta se volvería inmanejable. Este asunto se encuentra íntimamente ligado al de figura-fondo pues ambos se producen gracias a un mecanismo común, la focalización de la atención.

El tamaño de una forma alude a la dimensión absoluta que esta tiene. Tanto la proporción o la escala serán consideradas conceptos relativos que surgen de la comparación de los tamaños de diferentes formas o incluso de éstas con el marco de la imagen. Dichos conceptos son sugeridos mediante una adecuada composición o combinación de formas.

El tamaño posee también un importante valor semántico para una forma, pudiendo indicar, entre otras cosas, su dimensión, la distancia figurada al observador, su valor jerárquico, el valor de una magnitud a la que representa, etc. Obviamente, el tamaño de una forma en una ilustración no tiene por qué guardar relación con el tamaño real del objeto representado, aunque en ocasiones se establece una escala que permite deducir las dimensiones del modelo a partir de su representación. Sin embargo, lo más habitual es que cada elemento posea un tamaño aparente que se desprende de su comparación con otras formas de la imagen, entendiéndose que existe una proporcionalidad de tamaños entre la ilustración y el mundo real. No obstante, en algunos casos el ilustrador puede generar una desproporción voluntaria de las formas que componen un objeto o de unos objetos con otros con diferentes intenciones. Esta deformación requiere un cuidadoso planteamiento de los elementos que establecen el contexto para dicha imagen con el fin de evitar malas interpretaciones. Una de las alteraciones más frecuentes del tamaño de una forma en relación con otras tiene como objetivo la creación de diagramas o mapas conceptuales en los que se representan de forma conjunta objetos de muy diferentes dimensiones en la realidad pero que son igualados artificialmente en la ilustración para poder relacionarlos conceptualmente.

La posición es la ubicación de un punto de referencia de la forma (por ejemplo, su centro geométrico) dentro de la imagen en relación con un punto

considerado como origen. En los programas informáticos utilizados para ilustración generalmente este punto es el que está situado más arriba y a la derecha. La ubicación del objeto en el espacio tridimensional tiene su equivalente en las posiciones relativas que poseen los objetos representados en el plano.

Es posible jugar con la posición de las formas para modificar su significado y también aprovechar las posibilidades que ofrecen la combinación de formas en diferentes órdenes posicionales para sugerir diferentes conceptos. Finalmente, la posición relativa de los cuerpos representados puede guardar la misma proporción que en la realidad o existir una distorsión del espacio en la imagen.

La orientación es la última de las cualidades de la forma que se han considerado en este esquema teórico. La orientación del objeto representado en el espacio tridimensional en relación con el observador tiene repercusión en el aspecto que toma la proyección de éste en el espacio plano de la representación (frontal, lateral, oblicua, etc.), adquiriendo así una figura y orientación determinadas. Se entiende como orientación de una forma el ángulo formado por el eje vertical de la forma considerada con el eje vertical del marco de la imagen. Dado que dicho eje vertical puede definirse en diferentes posiciones para formas complejas, es preciso considerar una posición ideal de visualización, necesariamente subjetiva. No obstante, una vez fijado el eje, ya es posible comparar la orientación de formas que poseen la misma figura, lo que es muy interesante en composiciones basadas en la repetición de elementos. En cuanto al eje del marco de la imagen, dado que éste puede tener una forma irregular, e incluso vagamente definida, en ciertas ocasiones también precisa de una asignación subjetiva del eje vertical. No obstante, frecuentemente su figura tiene unos bordes netos y es geométrica, casi siempre rectangular. En caso de marcos

invisibles o indefinidos, los bordes de la página de publicación impresa o virtual pueden servir como referencia.

3.1.3 JERARQUÍA DE LAS CUALIDADES DE LA FORMA

Es posible establecer una cierta **jerarquía de las cualidades de la forma** en virtud de su importancia a la hora de caracterizarla y dotar de significado a la misma.

Así, en un contexto establecido, una forma queda definida esencialmente por su **figura**, siendo posible en muchos casos imaginar el resto de sus propiedades apoyándonos en la experiencia de formas similares.

En cuanto al **color**, para establecer su importancia jerárquica debemos diferenciar cada uno de sus dos aspectos esenciales (tonalidad y cromatismo), pues ambos muestran una distinta capacidad de caracterización de la forma. Por un lado, la *tonalidad* del color tiene un valor esencial para la distinción de figuras, puesto que, como ya se ha dicho, uno de los principales mecanismos para la separación de figura y fondo está basado en el contraste tonal entre ambos. Además, otra de las funciones esenciales de la tonalidad es la de modelar la forma creando apariencia de volumen. El *cromatismo*, sin embargo, posee una menor capacidad para caracterizar los elementos formales por sí mismo pese al contexto, aunque sirve como complemento de gran valor para su interpretación. Este valor secundario del cromatismo en relación con el tono, y, por tanto, con la figura o la textura, sería coherente con la naturalidad con la que aceptamos imágenes monocromáticas y la facilidad que tenemos para su correcta interpretación. Igualmente podría justificar la evolución natural del sentido de la visión en las diferentes especies. Así, la capacidad de discriminación del color ha sido uno de los últimos hitos alcanzados en contraposición a lo sucedido con la capacidad para interpretar figuras o texturas por su contraste tonal, que fue adquirida

en etapas más tempranas de la evolución, posiblemente debido a su mayor importancia para la supervivencia.

La **textura** es uno de los aspectos más característicos de una forma y, pese al habitual menosprecio con que ha sido tratada en muchas de las teorías previas sobre la imagen, tiene incluso mayor poder diferenciador para determinar la naturaleza química y estructural de la forma que el cromatismo. Esto es debido a que mientras existe un amplio número de materiales que poseen el mismo valor cromático (o simplemente no somos capaces de distinguirlo), resulta mucho más difícil encontrar materiales con la misma textura. De hecho, la textura actúa como una especie de huella digital que permite el reconocimiento del material representado.

El **tamaño** posee una menor importancia debido a que es una cualidad fuertemente establecida por la experiencia y que también se ve afectada por el fenómeno de la constancia de tamaño. Esto hace que pese a la introducción de importantes cambios de tamaño en las representaciones de objetos, estos son reconocidos con facilidad.

La **posición**, puede tener alguna importancia para la interpretación de una forma, debido a que, por ejemplo, el tamaño atribuido a la misma es diferente dependiendo de la altura a la que se sitúe en relación con el marco de la imagen (Goldstein 2006). Por otra parte, ya se ha comentado la importancia semántica derivada de la combinación de formas y como la posición relativa puede resultar de gran importancia para determinar el sentido de un mensaje gráfico, especialmente en las representaciones esquemáticas (Figura 84).

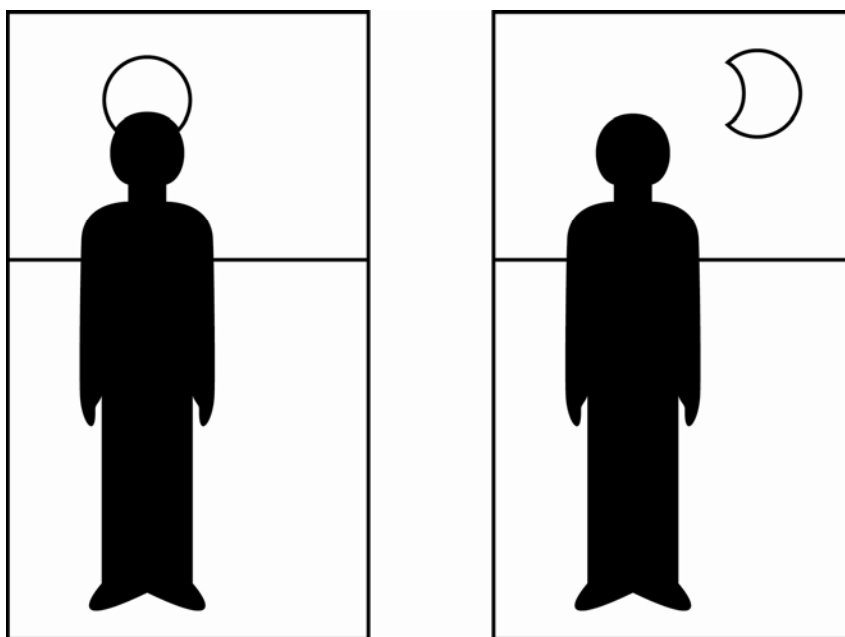


Figura 84: Importancia de la posición relativa de las formas para la generación de significado

Finalmente, la **orientación** rara vez modifica en su esencia el concepto que tenemos de una forma, y la recurrente alusión a la transformación del cuadrado en rombo mediante su cambio de posición, no sólo es excepcional sino que tampoco se ajusta con la verdadera definición de estas figuras geométricas. Un cuadrado según la definición de la Real Academia Española es una figura plana de lados iguales unidos por ángulos rectos, mientras que un rombo es un paralelogramo con lados iguales y dos de sus ángulos mayores que los otros dos. Por tanto, tengan la orientación que tenga, un cuadrado siempre será un cuadrado. Pese a esto, la orientación puede tener importancia a la hora de establecer su actitud en la imagen. Así, por ejemplo, una determinada disposición de una forma puede sugerir que ésta se encuentra flotando o, por el contrario, apoyada en una superficie, incluso cuando esta última no sea representada.

3.2 LA SINTAXIS DE LA IMAGEN

El modelo lingüístico ha sido uno de los más empleados en semiótica de la imagen, pese a que todavía hoy día está siendo objeto de discusión (Sonesson 1989) (Zunzunegui 1998). Aún siendo imposible establecer un paralelismo exacto entre ambos lenguajes, la similitud entre ellos puede ser de utilidad para realizar un abordaje suficientemente satisfactorio de la sintaxis de la imagen basado en la estructura de las lenguas naturales.

Empleando entonces un símil lingüístico, podría decirse que las **formas** realizan una función parecida a la que en el lenguaje tienen los **monemas** (unidades mínimas de significado), combinándose entre sí para generar estructuras más complejas que podríamos denominar formas compuestas u **objetos gráficos**. Estas últimas tienen un significado que podríamos considerar equivalente a las **palabras**, pudiendo a su vez interrelacionarse con otros objetos hasta componer una imagen. Con una finalidad esquemática es posible omitir algunas de las formas que componen un objeto gráfico debido a que las otras permiten identificar el objeto e imaginar su totalidad. Este tipo de elipsis es muy utilizada en ilustración con una finalidad sintetizadora y simplificadora. Finalmente, podría establecerse una equivalencia entre las oraciones del lenguaje escrito y determinadas áreas de la composición que por combinaciones de objetos pueden tener una temática concreta y que, puestas en relación con el resto de la imagen, construyen el relato completo de todo aquello que quiere ser representado mediante esa ilustración.

En la Figura 85 se muestra un esquema que resume esta propuesta de organización de los elementos de la imagen estática aislada.

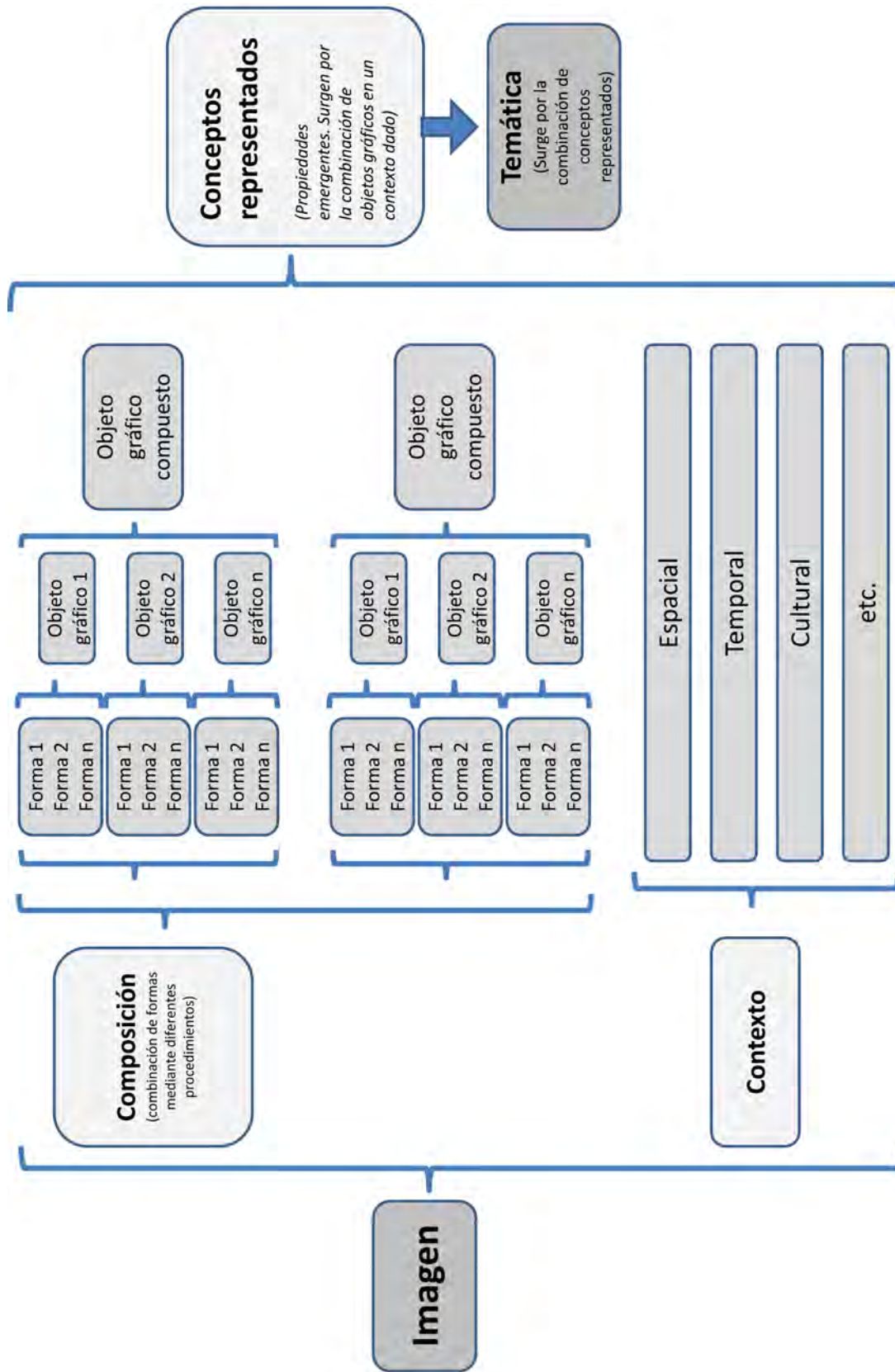


Figura 85. Modelo de representación de conceptos

En este esquema se puede apreciar como por medio de la combinación de unas formas elementales y su agrupación en objetos gráficos es posible llegar a unos significados concretos, para lo cual también se precisa la elección del contexto espacial y temporal idóneo para ese fin.

3.2.1 TIPOS DE RELACIÓN ENTRE FORMAS

Las diferentes formas de una composición pueden combinarse de diferentes maneras con el fin de crear distintos efectos visuales. Wucius Wong, en su libro *Fundamentos del diseño*, describe algunas de las posibles combinaciones, aunque su esquema no permite un abordaje suficientemente sistemático. Por este motivo se propone a continuación un modelo cuya finalidad es recoger todas las posibles relaciones genéricas entre formas. Éste puede servir, en primer lugar, para una descripción más exhaustiva de estas relaciones (algo que escapa a los objetivos de este trabajo) y, lo que es más importante, también puede ser útil para establecer con claridad cuáles son las pautas de combinación empleadas habitualmente para la representación de conceptos concretos.

Cada una de las cualidades de las formas ya descritas (figura, color, textura, tamaño, posición y orientación) pueden modificarse con el fin de crear un tipo concreto de relación con otras formas. Dicha relación se establece a partir del parecido que existe entre dos formas para una o varias de las citadas cualidades. El tipo de relación para una cualidad concreta se define según el grado de parecido, pudiendo ser de igualdad, semejanza o contraste. Las diferentes combinaciones de unas y otras generan distintos significados en una ilustración. Por ejemplo, dos formas iguales en figura, color, textura, tamaño y orientación pero con diferente posición pueden

utilizarse para crear la sensación de movimiento (intensificada por la existencia de otros elementos como una flecha). Sin embargo, dos formas de igual color, textura, tamaño y orientación pero con una figura semejante, siempre que estén situadas en diferente posición pueden ser interpretadas como una transformación de una en otra (de nuevo con mayor claridad cuando quedan unidas por una flecha).

La relación de semejanza es la que genera una mayor variedad de matices puesto que permite establecer gradaciones de parecido en las que cada elemento guarda una relación con el anterior, aunque los extremos se alejan entre sí. Esta gradación puede ser homogénea o heterogénea dando lugar a una sensación de cambio mecánico o matemáticamente calculado o, por el contrario, a una sensación de cambio aleatorio o natural. Además, la relación de semejanza origina combinaciones armónicas que pueden utilizarse con fines estéticos o con intención narrativa, como por ejemplo, para representar un proceso de cambio de forma.

3.2.2 EFECTOS DERIVADOS DE LA COMBINACIÓN DE FORMAS

Como ya se ha comentado previamente, las formas pueden disponerse adecuadamente en una composición para generar diferentes efectos visuales, tales como aparentar la existencia de un objeto o su movimiento, la iluminación, la profundidad espacial, etc. Estos efectos a su vez se van a combinar entre sí y se mostrarán en un determinado contexto al observador para que éste pueda construir el significado de la imagen.

Algunos de los posibles efectos creados por el ilustrador poseen una mayor importancia jerárquica que otros, quedando estos últimos al servicio de los primeros. Así, por ejemplo, el efecto denominado **objetualización** involucra una serie de efectos de segundo orden, tales como la apariencia volumétrica, la apariencia de

material, la iluminación, escala, proporción, etc., que permiten al lector construir la idea de un objeto concreto a partir de un conjunto de formas adecuadamente dispuestas sobre el plano. No obstante, para la descripción del **espacio**, otro concepto de primer orden, nos resulta imprescindible apoyarnos en los objetos, ya que estos son los que nos permiten calcular las distancias entre puntos. De esta forma, la objetualización queda a su vez al servicio de la descripción de la concepción del espacio.

El concepto de objeto tiene una importancia crucial para la comprensión de la realidad externa a través de la visión (ver página 67). Es por ello que buena parte de los recursos empleados para percibir imágenes estén orientados al proceso de objetualización, lo que en cierto modo afecta también a la interpretación de las imágenes. En ellas, cualquier grupo de formas, incluso las aisladas, generan la idea de objeto en el observador, aunque no todas lo sugieren con la misma intensidad, siendo las más eficaces aquellas que sugieren iluminación, volumen, etc. No obstante, es muy difícil que alguien interprete como objeto real algo que está dibujado pese a su hiperrealismo. Un ejemplo que ayuda a comprender la diferencia entre dibujo y objeto lo constituyen los diseños que cubren la superficie de muchos animales. Estos generalmente no son tomados como objetos (salvo los que tratan de aparentarlos como medida de defensa ante un ataque de un depredador) sino que son interpretados como parte de su colorido. Esto se produce principalmente porque la mancha o dibujo se encuentra pegado a la piel del animal (objeto) y sus límites coinciden exactamente con el contorno del animal. Además, el dibujo se mueve también cuando éste cambia de postura o cuando el observador se desplaza, por lo que resultaría improbable que se tratase de un objeto diferente. En una hoja en blanco con figuras dibujadas pasaría lo mismo. Lo que ocurre es que, pese a reconocer que se trata de una imagen virtual, la mente no puede dejar de interpretarla. Esto es

aprovechado por los artistas para crear ilusiones que nos permitan dejar volar la imaginación y pensar en los objetos representados como si fueran reales.

Otro efecto de primer orden presente en una gran parte de las ilustraciones que aparecen en los textos científicos es la **temporalidad**. No obstante, como ésta se manifiesta a través de cambios en las cosas, los objetos, su representación gráfica dependerá a su vez de los recursos que sirven para representar objetos y de aquellos que generan un efecto de movimiento o transformación en los mismo, quedando todos ellos al servicio del anterior.

3.3 TEMÁTICA O SIGNIFICADO DE LA IMAGEN

El significado de una imagen es construido por el observador a partir del análisis de su composición (combinación de formas y objetos gráficos que la constituyen) y teniendo en cuenta un contexto concreto. La composición se orienta a organizar las formas en objetos identificables y a establecer las relaciones entre estos para que adquieran un significado como macroobjeto o como parte de un proceso. El contexto, por su lado, trata de centrar el asunto presentado gráficamente en unas circunstancias concretas (sociales, culturales, económicas, personales, etc.), lo que puede matizar o modificar incluso el significado atribuido a la imagen.

Es importante tener en cuenta que el significado de una imagen es algo elaborado por cada sujeto en virtud de sus capacidades perceptivas e intelectuales, así como de su experiencia y formación previas. Esta subjetividad afectaría no sólo a la interpretación de las asociaciones formales y de sentido que surgen como resultado de la composición sino incluso a la forma percibida, ya que, por ejemplo, una alteración de la visión como el daltonismo podría también modificar el color apreciado por un individuo, alterando a su vez el efecto volumétrico pretendido o el esquema de iluminación sugerido, siempre que en su representación hubiesen intervenido los tonos

para los cuales existe una visión deficitaria. Por tanto, el ilustrador únicamente va a poder controlar parcialmente la apariencia y el contexto para una imagen, aunque esto podría ser suficiente en la mayor parte de los casos. Por otra parte, estadísticamente es improbable encontrar personas con déficits perceptivos suficientemente grandes como para originar una importante distorsión de la imagen y de su significado, y habitualmente estas personas suelen contar con algún tipo de ayuda correctora de la visión, por lo que el ilustrador puede orientar su trabajo hacia usuarios con características perceptivas similares a la suya. No obstante, lo que son mucho menos previsibles son los conocimientos y la experiencia previa que van a poseer los lectores del texto científico. Ya se ha hablado anteriormente de la importancia que tiene en ilustración científica reducir al mínimo la ambigüedad de significado, por lo que resulta deseable el empleo de aquellas formas gráficas que posean un significado menos dependiente del contexto y de las habilidades de interpretación adquiridas culturalmente. En este sentido han resultado de gran ayuda todas las investigaciones que ayudan a comprender el funcionamiento de nuestro sistema perceptivo y que permiten emplear recursos gráficos que poseen una interpretación común para la mayoría de los sujetos independientemente de su experiencia previa (ver apartado “Teorías en relación con la percepción visual” en página 61).

3.3.1 LA COMPOSICIÓN

La composición como se ha dicho anteriormente consiste en la combinación de las formas de una imagen con el fin de agruparlas en objetos gráficos simples o compuestos que van a relacionarse entre sí con el fin de expresar ideas. Una composición será correcta si representa adecuadamente los conceptos para los cuales fue diseñada. Más allá de su valiosa intuición, el ilustrador debe contar con otras herramientas que le faciliten esta tarea compositiva. Lamentablemente, no existen

apenas estudios que analicen cuál es el tipo de composición más adecuado para explicar cada una de las nociones posibles, por lo que la tradición previa se convierte en la fuente más importante de información para este fin. No obstante, pese a que existen diferentes materiales en los que se explican las técnicas y materiales artísticos empleados en ilustración, no existen estudios ni tratados que aborden la cuestión compositiva con una orientación clara a la representación de conceptos y aplicada específicamente al dibujo científico.

3.3.2 EL CONTEXTO

Por una parte, toda composición gráfica está delimitada del resto de la superficie de representación mediante un **marco** más o menos diferenciado. Gracias a él, en todo momento, podemos definir para una forma un contexto dentro de la composición, que tiene que ver con su especial relación con cada una de las formas que la rodean y con el marco de la imagen. Dicho marco puede tener una forma bien definida, con un trazo de contorno que sirve de frontera entre la imagen y los elementos colindantes, aunque puede carecer también de éste. En este último caso, el marco puede quedar definido por el contraste tonal o cromático entre la imagen y el área que la rodea, o puede tener unos bordes difusos que hacen difícil su localización. En muchos casos este marco es virtual o invisible, pese a que puede ser ubicado de forma aproximada gracias a un análisis intuitivo de los elementos que rodean a la imagen, tales como el texto y otras imágenes o elementos gráficos. Por otra parte, el marco visible o virtual suele ser rectangular o poseer en su defecto otra forma geométrica sencilla. No obstante, aunque puede adoptar realmente cualquier forma, en ilustración científica no es frecuente que esto suceda.

De esta manera, toda forma dentro de una composición (de un marco) está inmersa en un contexto, tanto espacial como temporal, que contribuye a determinar su significado o temática. El contexto es algo inseparable de la forma y puede llegar a tener tanta importancia que modifique radicalmente su sentido. Un ejemplo de este fenómeno puede verse en la Figura 84, en la que se presenta una forma circular de color dorado en dos contextos diferentes: el primero sobre un fondo azul celeste y el segundo sobre la cabeza de un hombre ataviado con un hábito. Por tanto, tiene un valor esencial en la determinación semántica de la forma que va a complementarse con el significado y matices derivados de su apariencia. El contexto de una forma dentro de una imagen depende de sus relaciones con otras formas de la imagen, que se establecen durante el proceso de composición de ésta. En el esquema propuesto sobre la Teoría de la imagen no aparece, por tanto, éste que podríamos denominar **contexto interno**, pues forma parte del citado proceso compositivo. Por tanto, el contexto incorporado en dicho esquema se corresponde con el **contexto externo**, que, como su nombre indica, sería aquel que relaciona la imagen con factores externos a ella. Dependiendo del tipo de factor considerado, podemos hablar de un contexto social, cultural, económico, etc.

El contexto interno puede ser controlado hasta cierto punto por el ilustrador puesto que es quien decide las relaciones de unas formas con otras dentro de una imagen. El contexto externo es sólo parcialmente dominado, ya que es posible que el ilustrador conozca de antemano la ubicación de la ilustración en relación con otros elementos gráficos o de texto de la publicación, la temática tratada, u otras cuestiones de interés. No obstante, con demasiada frecuencia el ilustrador desconoce estos datos y queda a merced de las decisiones tomadas por otros profesionales durante la maquetación. Incluso, en ocasiones la ilustración puede sufrir importantes cambios

debido a la impresión o a recortes realizados sin su conocimiento. Aun suponiendo que exista una perfecta coordinación entre profesionales que permita al ilustrador un control adecuado tanto del aspecto de la imagen como de su ubicación dentro del documento, una vez que ésta llega al público no es posible predecir en qué contexto concreto va a ser contemplada por el usuario final. No ejerce la misma función un libro de anatomía en una facultad de medicina que en una de bellas artes y tampoco es lo mismo ver un libro recién editado que cuando ya han pasado 50 años desde su publicación.

El contexto externo, ya sea espacial, temporal, cultural, social, económico, etc.), puede influir de manera determinante en la interpretación de la imagen, tal como se ha comentado anteriormente. Cuando una ilustración es contemplada fuera del contexto para el cual fue diseñada puede producirse una interpretación errónea de su significado.

ESTUDIOS REALIZADOS

ESTUDIOS REALIZADOS

1 ESTUDIO I: ANÁLISIS DE LAS ILUSTRACIONES INCLUIDAS EN TRATADOS CIENTÍFICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS INVOLUCRADOS EN LA REPRESENTACIÓN DE CONCEPTOS.....	235
1.1 Justificación	235
1.2 Objetivos	237
1.3 Metodología	237
1.3.1 <i>Determinación de la muestra de estudio</i>	237
1.3.2 <i>Datos registrados</i>	240
1.3.3 <i>Análisis de datos</i>	240
1.4 Resultados.....	241
1.4.1 <i>Análisis de conceptos y recursos</i>	244
Acción	244
Actividad	251
Cambio morfológico.....	253
Destrucción	260
Diferencia entre elementos.....	262
División	273
Energía	275
Filogenia	281
Morfología del modelo	284
Movimiento	304
Reacción química.....	317
Temporalidad.....	318
Unión	322
1.4.2 <i>Combinaciones de recursos más prevalentes</i>	323
1.5 Conclusiones del Estudio I	325
1.5.1 <i>Conceptos y combinaciones de recursos</i>	325
1.5.2 <i>Integración de ilustraciones y diagramas</i>	331

2 ESTUDIO II: ANÁLISIS DE LAS ILUSTRACIONES VINCULADAS A GRÁFICAS CIENTÍFICAS	335
2.1 Justificación	335
2.2 Objetivos	336
2.3 Metodología	336
2.3.1 <i>Determinación de la muestra de estudio</i>	336
2.3.2 <i>Datos registrados</i>	337
2.3.3 <i>Análisis de datos</i>	338
2.4 Resultados	338
2.4.1 <i>Tipos de ilustraciones vinculadas a gráficas</i>	338
2.4.2 <i>Características de las ilustraciones vinculadas a gráficas</i>	343
2.5 Conclusiones del Estudio II	347

ESTUDIOS REALIZADOS

1 ESTUDIO I: ANÁLISIS DE LAS ILUSTRACIONES INCLUIDAS EN TRATADOS CIENTÍFICOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS MECANISMOS INVOLUCRADOS EN LA REPRESENTACIÓN DE CONCEPTOS

1.1 JUSTIFICACIÓN

Aunque existen numerosas aproximaciones teóricas a la representación de conceptos por medio de la imagen, no se habían realizado hasta la fecha análisis exhaustivos de imágenes para comprobar su validez en la práctica.

Por otra parte, tampoco se habían estudiado con suficiente profundidad los recursos empleados para la recreación de ideas concretas ni de las posibles combinaciones entre ellos. La descripción de los mecanismos involucrados en la representación gráfica de nociones concretas es un asunto de gran importancia para la transmisión eficaz de los conocimientos científicos puesto que de él depende la correcta codificación del mensaje ofrecido.

Hay que tener en cuenta que, salvo excepciones, en ilustración científica no existen normas consensuadas para la representación de conceptos y que las tendencias existentes se han establecido de forma paulatina mediante su empleo repetido a lo largo del tiempo. Por tanto, los recursos gráficos que aparecen en una ilustración adquieren un significado específico fundamentalmente en virtud de los usos compartidos. Por eso es necesario determinar cuáles son estos para poder establecer en el futuro unas normas de utilización que unifiquen las representaciones en algunos

casos, evitando ambigüedades. No se trataría de protocolizar la tarea del ilustrador, sino de facilitarla, aportándole unos criterios estables para la representación de determinados conceptos de uso frecuente en diferentes materias científicas, así como también una serie de sugerencias sobre posibles formas de expresar ideas. Con esta finalidad, un estudio estructural permitirá establecer las relaciones instituidas por repetición entre un elemento y su uso, e instituyentes en las nuevas generaciones porque determinarán el conocimiento que éstas posean de las materias consideradas. Lo que se persigue básicamente es establecer unas normas que conduzcan en la medida de lo posible a la universalidad de la comunicación científica a través de imágenes.

Este estudio se ha centrado concretamente en las ilustraciones y diagramas científicos, excluyendo expresamente las tablas y gráficas. Esto se ha debido fundamentalmente a que éstas poseen unas características, un comportamiento y unas aplicaciones bien diferenciados de los diagramas e ilustraciones. Por otra parte, existen numerosos estudios acerca de tablas y gráficas científicas que analizan tanto su presentación (elementos constituyentes, características, disposición, etc.) como las reglas a seguir para mejorar su efectividad de cara a la representación de relaciones entre variables. Finalmente, el examen conjunto de ilustraciones y diagramas obedece también a que es difícil establecer un límite claro entre ambas entidades. Por tanto, aunque a menudo son considerados como tipos de gráficos distintos, por los citados motivos se han incluido de forma conjunta en este estudio.

1.2 OBJETIVOS

1. Analizar las ilustraciones aisladas y las incluidas en diagramas en tratados científicos con el fin de determinar:
 - Cuáles son los conceptos básicos representados.
 - Cuáles son los recursos gráficos empleados para la representación de dichos conceptos elementales.
 - Qué recursos alternativos a los encontrados podrían proponerse para describir esos conceptos representados.
 - Cuáles son las combinaciones más frecuentes de los elementos gráficos para cada concepto descrito.
2. Elaborar un manual práctico de ilustración en el que se describan las combinaciones de recursos posibles para la representación gráfica de conceptos habitualmente expresados mediante imágenes científicas.

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

El estudio se realizó sobre una amplia muestra de 3894 figuras que se seleccionaron según los criterios que se detallan a continuación.

Selección del tipo de publicación

En primer lugar, se decidió centrar el estudio en las imágenes incluidas en tratados científicos, dejando a un lado otro tipo de publicaciones. La razón para esta

elección fue que este tipo de textos son el destino principal de las ilustraciones que se realizan con fines científicos y son además, junto con las sesiones presenciales, la principal vía de transmisión de este tipo de conocimientos.

Selección de estudios, materias y tratados

En primer lugar, el trabajo se centró en aquellas disciplinas que estudian los seres vivos y, concretamente, en aquellas que poseían un carácter más generalista: Biología, Medicina y Veterinaria. En segundo lugar, se restringió el campo de análisis a aquellas asignaturas impartidas en el primer y segundo curso de las citadas carreras en la Universidad Complutense de Madrid, teniendo en cuenta los planes de estudios más recientes. Esto fue debido a diferentes razones. Por una parte, era necesario acotar el número de materias analizadas, debido a la imposibilidad de abarcar su totalidad. Por otra parte, los primeros dos cursos de los estudios universitarios suponen un primer contacto de los alumnos con buena parte de las disciplinas y es en ellos donde se explican los conceptos básicos, por lo que las ilustraciones cobran una especial relevancia, tanto como complemento del texto como por sí mismas. Así, estos tratados elementales juegan un papel fundamental en la estructuración de la particular visión que los alumnos construyen sobre las diferentes ramas de la ciencia. Otra razón que se tuvo en cuenta para esta selección es que suele existir una mayor abundancia de imágenes en los textos correspondientes a las asignaturas elementales, lo que suponía una fuente más amplia para el presente estudio.

La selección de las materias concretas y de los tratados que iban a ser analizados se realizó utilizando como principal criterio de selección la frecuencia de préstamo de libros en las bibliotecas de las facultades seleccionadas previamente. Para ello, se solicitó en cada una de sus respectivas bibliotecas un informe con el listado de los libros más prestados durante el año 2008.

Se eligieron en total nueve libros, tres de cada facultad seleccionada. Con esta finalidad, en cada una de ellas se anotaron cuáles eran los libros más prestados correspondientes a cada asignatura de los dos primeros cursos. Posteriormente, se seleccionaron los que ocuparon las tres primeras posiciones en cada facultad (Tabla 5). Por otra parte, siempre se escogieron las últimas ediciones de cada tratado y se descartaron aquellos libros cuya última edición superaba los 10 años de antigüedad (ediciones anteriores a 1999). Dado que hubo una coincidencia en uno de los libros más prestados por materia en las Facultad de Medicina y en la de Veterinaria, concretamente el Tratado de Fisiología Humana (Guyton y Hall, 2006), se seleccionó una materia adicional escogiendo el siguiente libro más prestado en cualquiera de las citadas carreras, resultando ser el Tratado de Histología Básica (Junqueira y Carneiro, 2005).

Tabla 5: Libros más prestados por asignatura en las Facultades de Biología, Medicina y Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid durante el año 2008

Biología	Biología celular (Paniagua, Nistal, Sesma, Álvarez-Uría, Fraile, Anadón y Sáez 2007)
	Microbiología (Madigan, Martinko y Parker 2004).
	Zoología (Hickman, Roberts, Larson, L' Anson y Eisenhour 2006).
Medicina	Anatomía Humana (Rouvière y Delmas 2008).
	Bioquímica (Nelson y Cox 2009).
	Fisiología humana (Guyton y Hall 2007).
	Histología (Junqueira y Carneiro).
Veterinaria	Anatomía veterinaria (König y Liebich 2005).
	Fisiología humana (Guyton y Hall 2007).
	Fisiología veterinaria (Cunningham y Klein 2009).

Selección de las imágenes

Se analizaron en cada uno de los nueve tratados estudiados tanto las figuras en las que la ilustración era el elemento principal, como aquellas otras en las que la ilustración quedaba integrada en diagramas (3894 figuras de las 6044 presentes en los nueve libros).

1.3.2 DATOS REGISTRADOS

En primer lugar, para cada tratado se apuntó el número de páginas y el número de ilustraciones para conocer la extensión de la muestra.

A partir del análisis de las ilustraciones previamente seleccionadas en cada texto se anotó en una base de datos informática creada mediante Microsoft Access 2007[®] cuáles eran los distintos **conceptos elementales representados** en ellas. Para la determinación del concepto representado, se realizó una lectura del pie de foto y, en aquellos casos en que éste no aclarase el significado del recurso gráfico analizado, se acudió al texto del tratado al que la figura complementaba para descubrir el sentido del mismo. Únicamente se registraron los conceptos cuando aparecían representados por primera vez.

Por otra parte, se registraron en la misma base de datos los **diferentes tipos de recursos gráficos y las combinaciones** que se habían empleado para la representación de cada concepto básico considerado.

1.3.3 ANÁLISIS DE DATOS

Una vez registrados los datos anteriores a partir del análisis de las imágenes, se procedió a crear una tabla que contenía dichos conceptos. Posteriormente estos fueron filtrados para eliminar aquellos que podrían considerarse equivalentes y

denominarlos con un mismo término descriptivo. Con esta finalidad, se realizaron búsquedas sistemáticas de los términos resultantes del filtrado, así como de sus sinónimos en diferentes diccionarios científicos (Diccionarios Oxford-Complutense: Biología 1998; Diccionarios Oxford-Complutense: Química 1999; Dorland: diccionario enciclopédico ilustrado de medicina 2005; Diccionario de la lengua española. R. A. E. 2008) (Tabla 6).

Tabla 6: Diccionarios consultados para el filtrado y reagrupamiento de conceptos.

Diccionarios consultados
Diccionario de la lengua española. R. A. E. (2008)
Dorland: Diccionario enciclopédico ilustrado de medicina (2005)
Diccionarios Oxford-Complutense: Biología (1998)
Diccionarios Oxford-Complutense: Química (1999)

Una vez valorados todos los términos, junto con sus sinónimos, se seleccionaron aquellos que podían definir mejor cada uno de los conceptos. Finalmente, los conceptos obtenidos tras el filtrado se reagruparon en categorías más amplias que englobaban aquellos términos que estaban relacionados entre sí.

1.4 RESULTADOS

Se registraron un total de 82 conceptos diferentes representados en la muestra considerada (3894 imágenes). Una vez filtrado para eliminar todos aquellos términos que pudieran ser considerados equivalentes, quedaron 43 conceptos, que posteriormente fueron agrupados en 13 categorías. En la Tabla 7 puede consultarse el

listado alfabético de todas las categorías de conceptos identificadas junto con las modalidades encontradas para cada uno de ellas.

Tabla 7: Conceptos representados en las imágenes analizadas y sus distintas modalidades. Las palabras en cursiva se pueden consultar en el glosario de términos científicos.

CATEGORÍAS	CONCEPTOS
Acción	Catálisis Estimulación Inhibición Fuerza (presión, tracción, etc.) Otras no especificadas salvo por contexto (activación, separación, etc.)
Actividad	Actividad
Cambio morfológico	Cambio de postura Diferenciación (celular o de organismos) Degeneración (celular o de órganos) Maduración (celular o de organismos) Malignización Metamorfosis Cambio de estado físico (evaporación, solidificación, licuefacción, sublimación)
Destrucción	Apoptosis Necrosis (celular, de tejidos o de órganos) Digestión Lisis (moléculas, células, tejidos)
Diferenciación de elementos, partes, procesos, etc.	Diferenciación de elementos, partes, procesos, etc.
División	Fraccionamiento (corte, ruptura, etc.) Despiece Reproducción (celular o de organismos)
Energía	Calor (conducción, convección y radiación) Luz (visible, ultravioleta, infrarroja, láser) Electricidad (carga o corriente eléctrica) Energía química
Filogenia	Filogenia (parentesco, cambio

	evolutiva, semejanza)
Morfología del modelo	Forma Color Textura Tamaño Posición en el espacio Orientación espacial
Movimiento	Desplazamiento Giro (rotación, abatimiento, traslación) Flujo (de líquidos, gases o partículas) Traspaso (secreción, absorción, penetración, expulsión, etc.)
Reacción química	Reacción química
Temporalidad	Orden temporal Duración temporal
Unión o mezcla	Fusión Mezcla Agrupamiento Acoplamiento

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los 43 conceptos analizados, agrupados según las categorías que se muestran en la Tabla 7. En primer lugar se define cada término a partir de las consultas realizadas en diferentes diccionarios científicos (ver Tabla 6 en página 241) y posteriormente se exponen los recursos empleados para su representación, así como las distintas combinaciones entre ellos que se han identificado. En cada caso se muestran algunos ejemplos significativos encontrados en las figuras analizadas. **Los recursos serán señalados cuando sea preciso mediante una flecha como la siguiente:**



Por último, **en la Figura 157, que se muestra al final de los resultados se presenta una síntesis de las combinaciones de recursos cuya prevalencia ha destacado sobre el resto en la representación de los conceptos analizados.** Esta imagen posee una gran importancia porque ofrece una información útil para los ilustradores y puede servir de referencia para el establecimiento de unas pautas consensuadas de cara a la expresión de ideas concretas en ilustración científica.

1.4.1 ANÁLISIS DE CONCEPTOS Y RECURSOS

ACCIÓN

Definición

Efecto que causa un agente sobre algo.

Recursos empleados

Se han identificado diferentes tipos de acciones de unos elementos sobre otros en las imágenes analizadas. No obstante, con frecuencia estas acciones estaban descritas con texto y no eran en absoluto comprensibles únicamente mediante la visualización de los elementos gráficos participantes. En la mayor parte de los casos (79%), la acción fue expresada mediante diferentes tipos y combinaciones de flechas, aunque en numerosas ocasiones (29%) ésta fue representada mediante una secuencia de sucesos. No obstante, en muchas ilustraciones se adjuntaron también rótulos explicativos para dejar claro el tipo de operación ejecutada. Aunque algunas de las acciones representadas disponían de una simbología propia que permitió identificarlas, la mayoría de ellas utilizaban flechas de forma inespecífica y tuvieron que ser interpretadas por el contexto. En general se identificaron éstas como acción cuando por contexto no se apreciaba movimiento ni transformación. Así, cuando la flecha unía elementos iguales se dedujo que se trataba de un desplazamiento y que

ambos eran el mismo objeto en la posición inicial y la final. Por otra parte, cuando una flecha unía elementos parecidos, ambos se interpretaron como dos fases sucesivas de un proceso de cambio morfológico. Sin embargo, cuando la flecha unía elementos totalmente diferentes esto se interpretó generalmente como la acción de uno sobre otro. La mayor fuente de ambigüedad surgió cuando se unieron por una flecha única dos fases formalmente muy diferentes de una transformación no conocida por el lector, por ejemplo una metamorfosis. En estos casos, casi siempre hubo que recurrir al texto o a otros elementos contextualizadores.

Las acciones halladas con más frecuencia en la muestra han sido las siguientes: **estimulación**, avivamiento de una actividad, operación o función (33%), **inhibición**, detención o restricción de un proceso (29%) y **catálisis**, aumento de la rapidez de una reacción química (24%). Otros tipos de acción se observaron con una frecuencia mucho menor y expresados de una forma mucho más inespecífica. Entre ellos, los siguientes: transformación, unión, separación y lisis o ruptura.

Estimulación e inhibición

Se han identificado 20 variantes diferentes de combinaciones gráficas para expresar los conceptos de estimulación e inhibición, que se han reflejado esquemáticamente en la Figura 86. Ninguna de ellas ha predominado claramente sobre las otras, aunque algunas se han repetido ligeramente con más frecuencia al ser más constante su utilización en un mismo tratado (Figura 87). En todos ellos se estableció algún tipo de contraste para representar estos conceptos antagónicos. En la mayor parte de los casos (57%), el contraste se introdujo mediante símbolos opuestos (“+” para estimulación y “-” para inhibición) y, en menor medida con otros tipos de signos (Figura 88). Muy frecuentemente el contraste afectó al tipo de trazo (52%),

siendo continuo para estimulación y discontinuo para inhibición. Finalmente, en muchas ocasiones se estableció un contraste de color (42%), fundamentalmente negro para estimulación y rojo para inhibición. Todos estos recursos fueron combinados unos con otros, dando lugar a múltiples variantes.

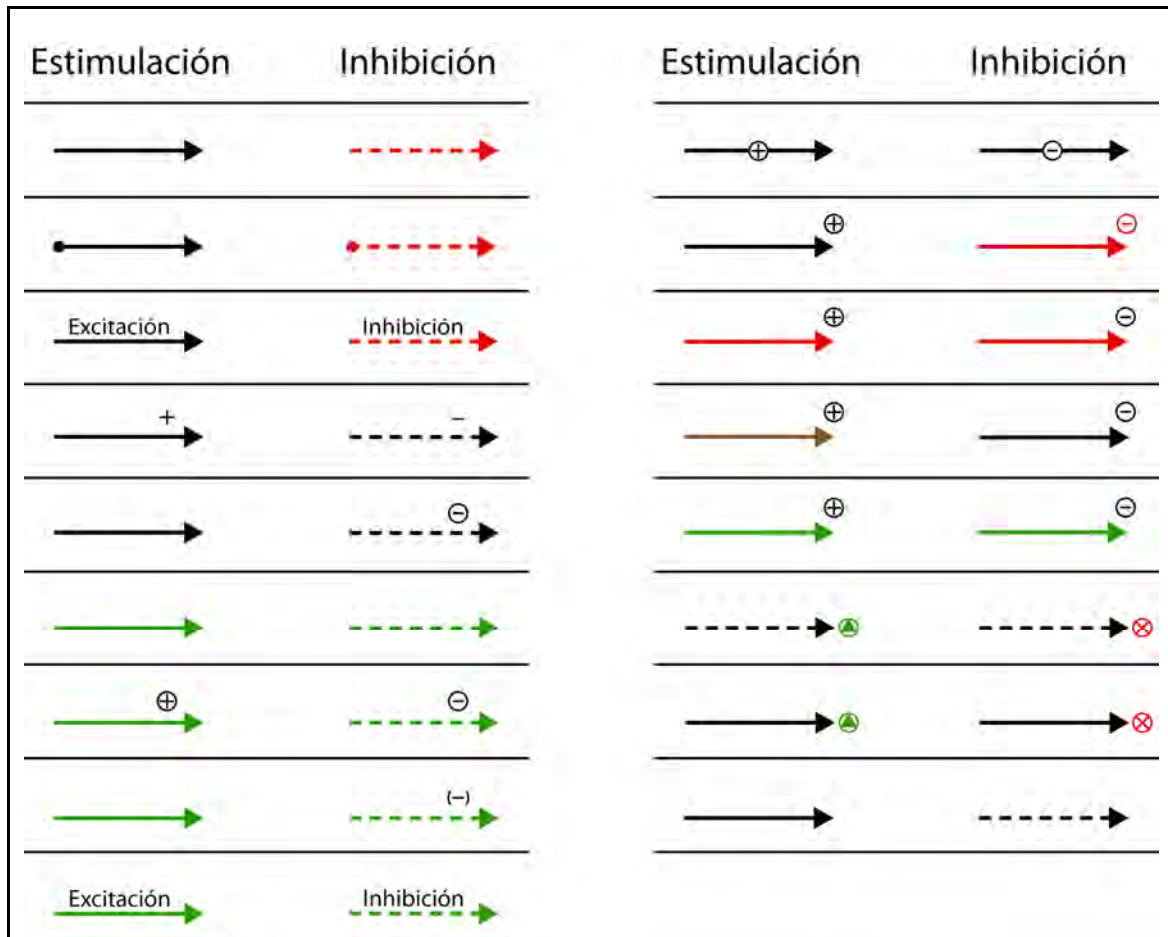


Figura 86: Diferentes modalidades de flecha identificadas en las imágenes analizadas para representar una acción de estimulación o inhibición. En cada caso se muestra la variante estimuladora junto a la correspondiente inhibidora. En algunos casos la información es redundante, reforzándose el significado del signo mediante color, tipo de trazo y símbolo o texto.

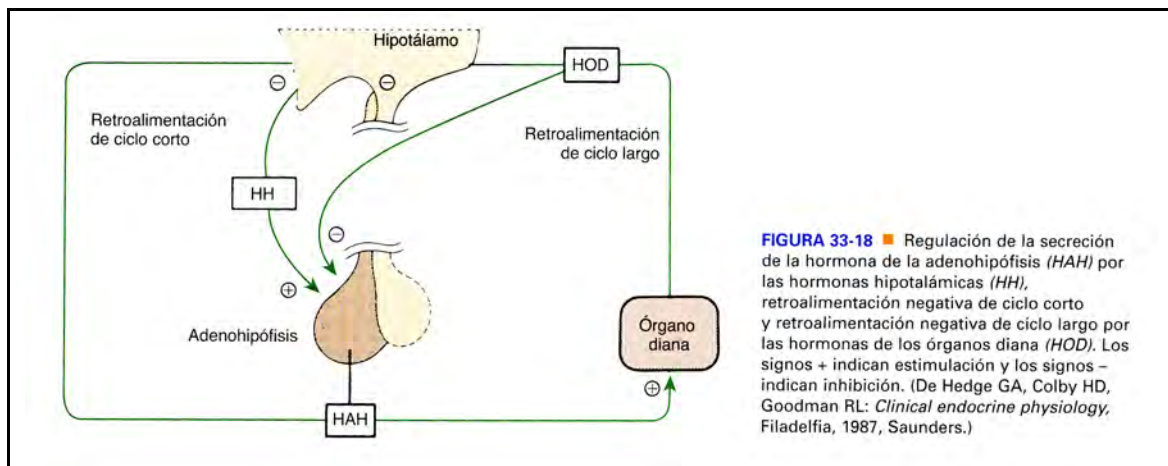


FIGURA 33-18 ■ Regulación de la secreción de la hormona de la adenohipófisis (HAH) por las hormonas hipotálamicas (HH), retroalimentación negativa de ciclo corto y retroalimentación negativa de ciclo largo por las hormonas de los órganos diana (HOD). Los signos + indican estimulación y los signos - indican inhibición. (De Hedge GA, Colby HD, Goodman RL: *Clinical endocrine physiology*, Filadelfia, 1987, Saunders.)

Figura 87: Representación de estimulación e inhibición mediante símbolos "+" y "-", así como con flechas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

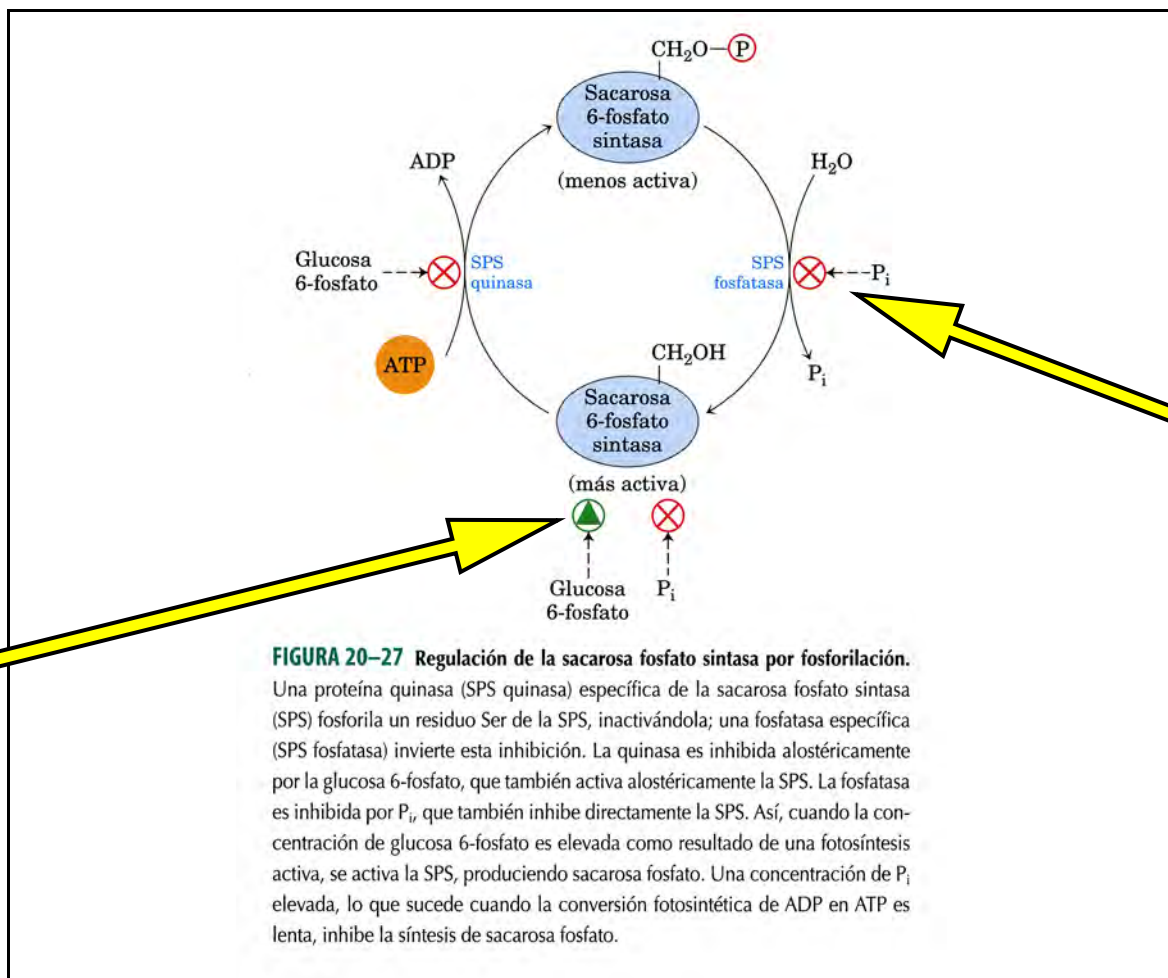


FIGURA 20-27 Regulación de la sacarosa fosfato sintasa por fosforilación. Una proteína quinasa (SPS quinasa) específica de la sacarosa fosfato sintasa (SPS) fosforila un residuo Ser de la SPS, inactivándola; una fosfatasa específica (SPS fosfatasa) invierte esta inhibición. La quinasa es inhibida alostéricamente por la glucosa 6-fosfato, que también activa alostéricamente la SPS. La fosfatasa es inhibida por P_i , que también inhibe directamente la SPS. Así, cuando la concentración de glucosa 6-fosfato es elevada como resultado de una fotosíntesis activa, se activa la SPS, produciendo sacarosa fosfato. Una concentración de P_i elevada, lo que sucede cuando la conversión fotosintética de ADP en ATP es lenta, inhibe la síntesis de sacarosa fosfato.

Figura 88: Representación de estimulación e inhibición mediante símbolos (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

Catálisis

La catálisis es la aceleración de la velocidad de una determinada reacción química por la acción de una sustancia (enzima o catalizador) que está presente, aunque no se consume en dicha reacción. La forma más habitual de indicar la acción catalítica de una sustancia observada en las imágenes analizadas fue situando el nombre de la enzima junto a la flecha (73%) (Figura 90). También fue representada con relativa frecuencia (22%) mediante el uso de una flecha continua o discontinua que partiendo de dicha sustancia apuntaba a la zona media de otra flecha que indicaba el sentido de una determinada reacción química (Figura 89).

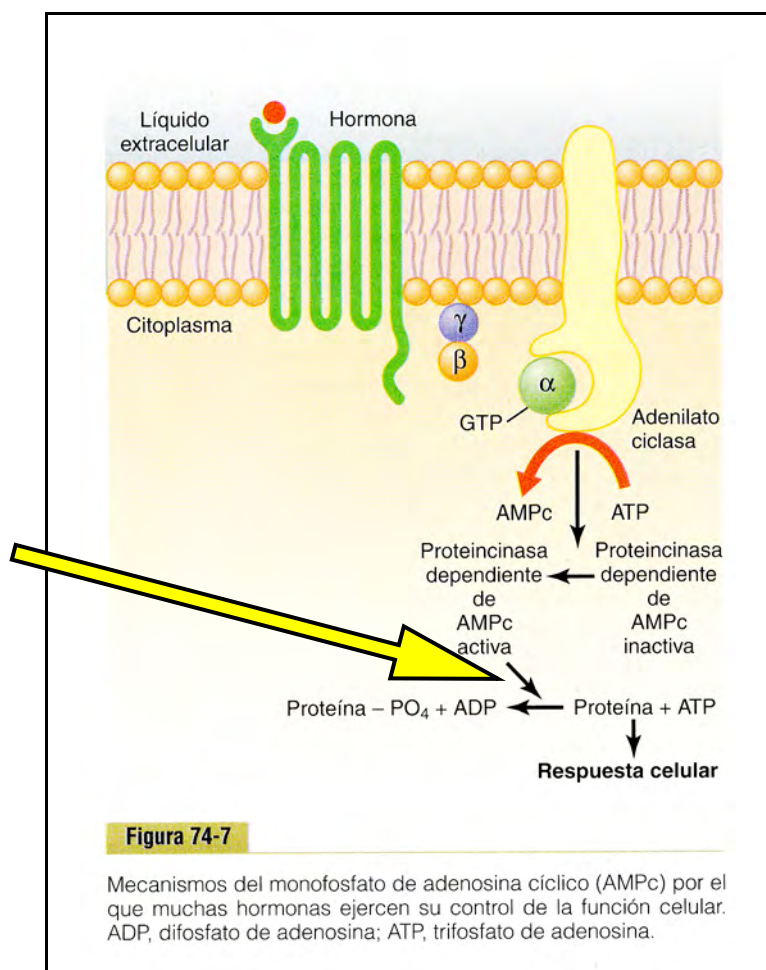


Figura 89: Representación de catálisis mediante flechas (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

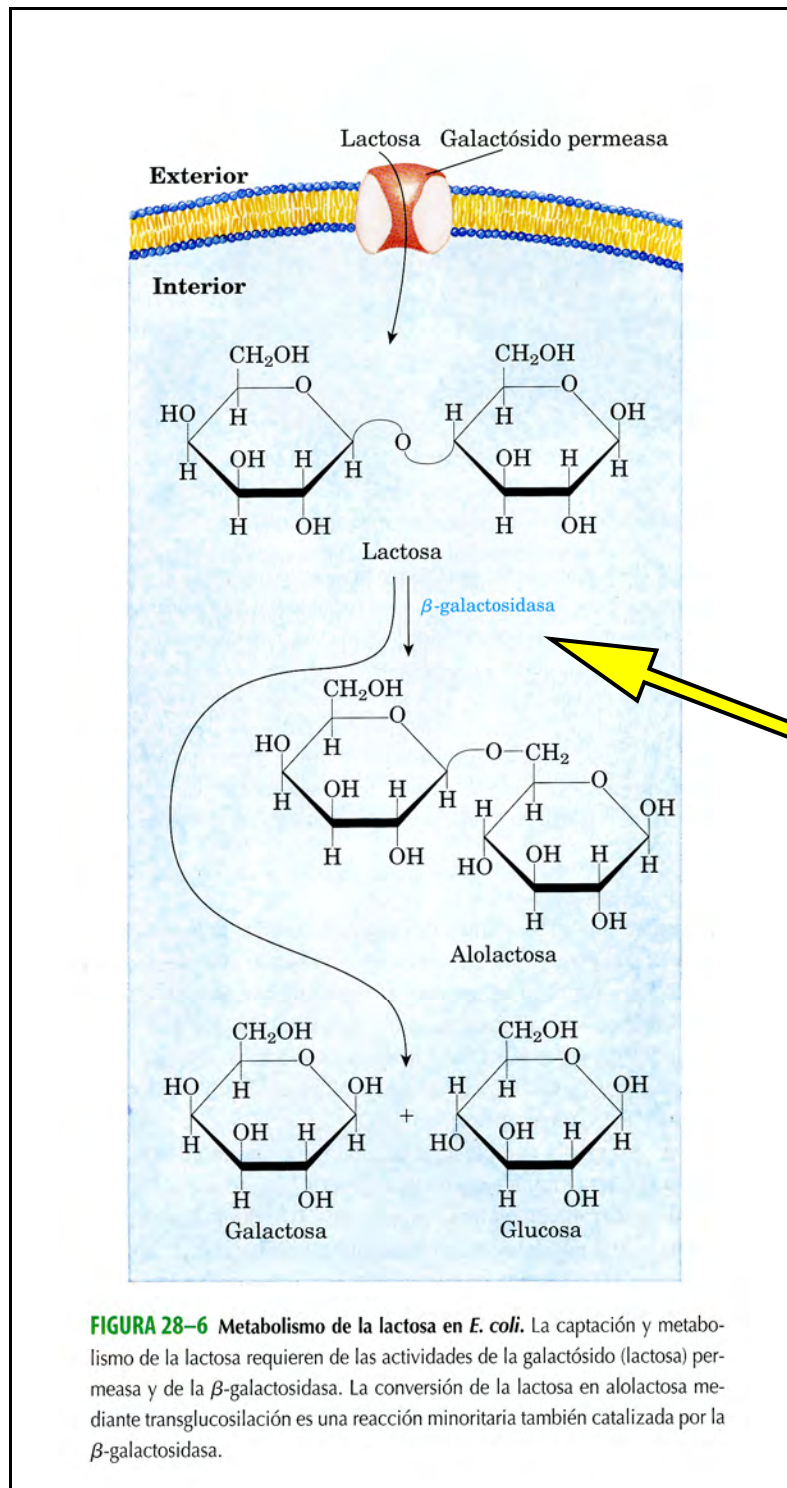


Figura 90: Representación de catálisis mediante texto (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

Otra manera de representar esta acción fue mediante una flecha curva que indica que el catalizador sólo está presente pero no se consume en el proceso. Ésta se empleó en el 5% de los casos (Figura 91).

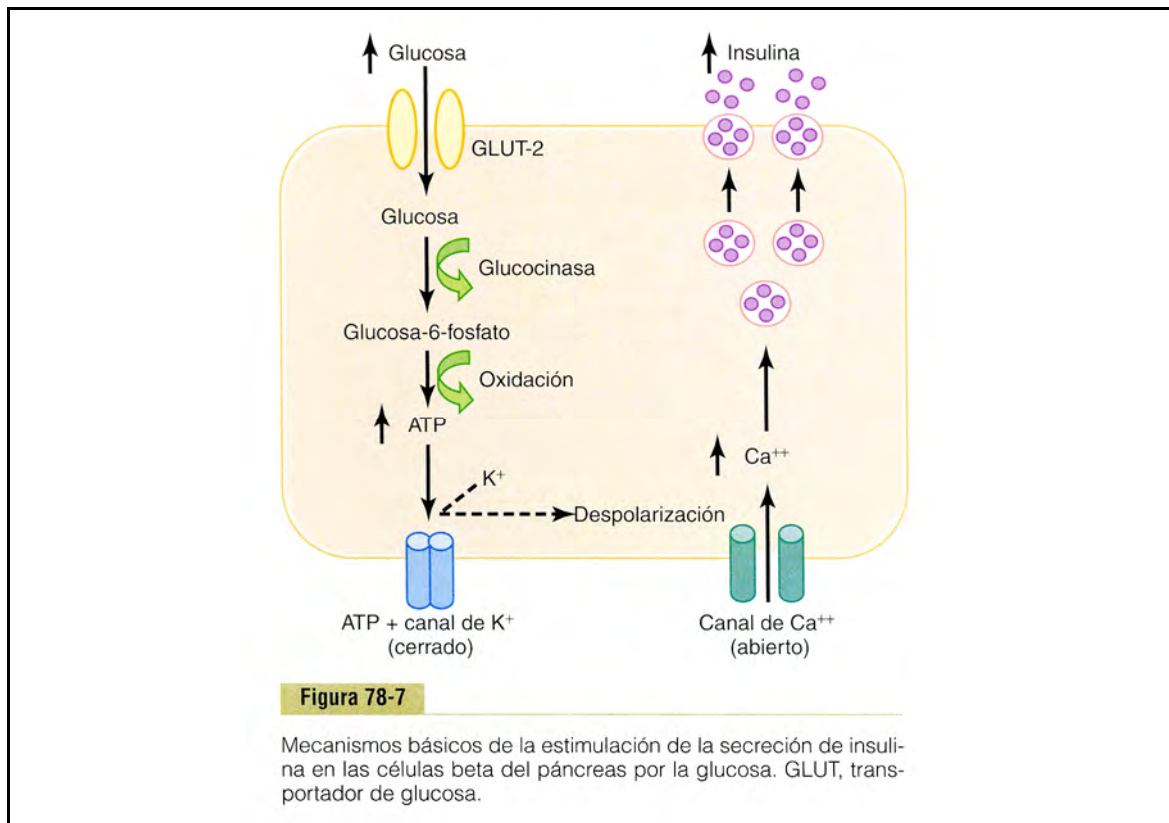


Figura 91: Representación de catálisis mediante flecha curva (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

Otras acciones: transformación, unión, separación, lisis, etc.

La forma de indicar este tipo de acciones fue en todos los casos a partir de una flecha que señalaba al elemento que el agente iba a transformar, separar, unir, romper, etc. En estos casos, la flecha únicamente indicaba una acción inespecífica del agente sobre otro elemento, que únicamente podía ser interpretada gracias al contexto o al texto acompañante, y especialmente a la secuencia gráfica que se desarrollaba a

partir de este último elemento. En la Figura 92 se muestra un ejemplo de un elemento que actúa sobre otro para provocar su separación de un tercero.

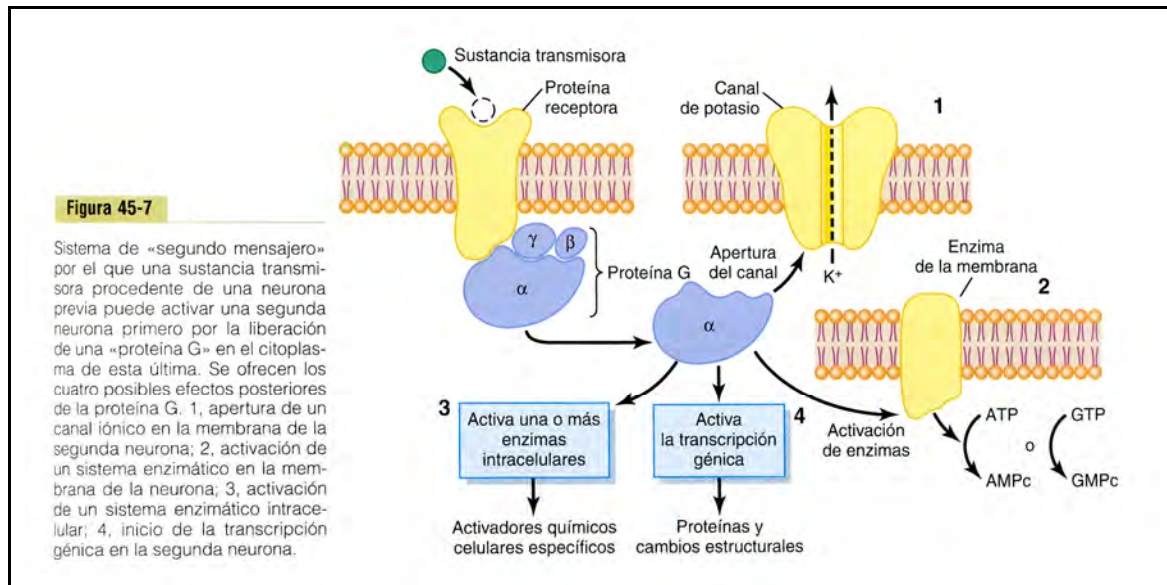


Figura 92: Representación de distintas acciones mediante flechas y texto. La unión de una sustancia transmisora (en verde) a la proteína receptora (en naranja) provoca la separación de la subunidad α de la proteína G, que posteriormente puede realizar diferentes acciones (indicadas con los números 1, 2, 3 y 4). Estas acciones están indicadas mediante flechas, aunque para identificarlas es también preciso analizar la secuencia representada. En algunos casos, las flechas representan otros conceptos, como movimiento o traspaso, lo que dificulta la comprensión de la figura (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

ACTIVIDAD

Definición

Capacidad para hacer algo o para producir algún efecto. Frecuentemente utilizado en ciencia para hacer alusión a elementos o sustancias que se ponen en funcionamiento o pierden su capacidad de acción en determinadas circunstancias (al interactuar con otras sustancias, recibir un aporte energético, etc.).

Recursos empleados

El principal método gráfico encontrado para reflejar la actividad de un elemento, estaba basado en el uso de formas en disposición radial similares a las empleadas

para sugerir la presencia de una radiación de energía (utilizado en el 85% de los casos) (Figura 93). No obstante, en otras imágenes la activación era provocada por un cambio en la forma del elemento o su unión o separación a otras estructuras, pero esto no fue evidente en ningún caso sin la ayuda del texto que acompañaba a la imagen. En algunas ocasiones el proceso de activación podía ser deducido por la existencia de una secuencia en cadena, por ejemplo, acción de una sustancia sobre otra - acción de ésta sobre una tercera - efecto sobre la tercera (división, liberación, destrucción, transformación, etc.). En cualquier caso, la descripción gráfica casi siempre necesitó del texto para ser correctamente interpretada.

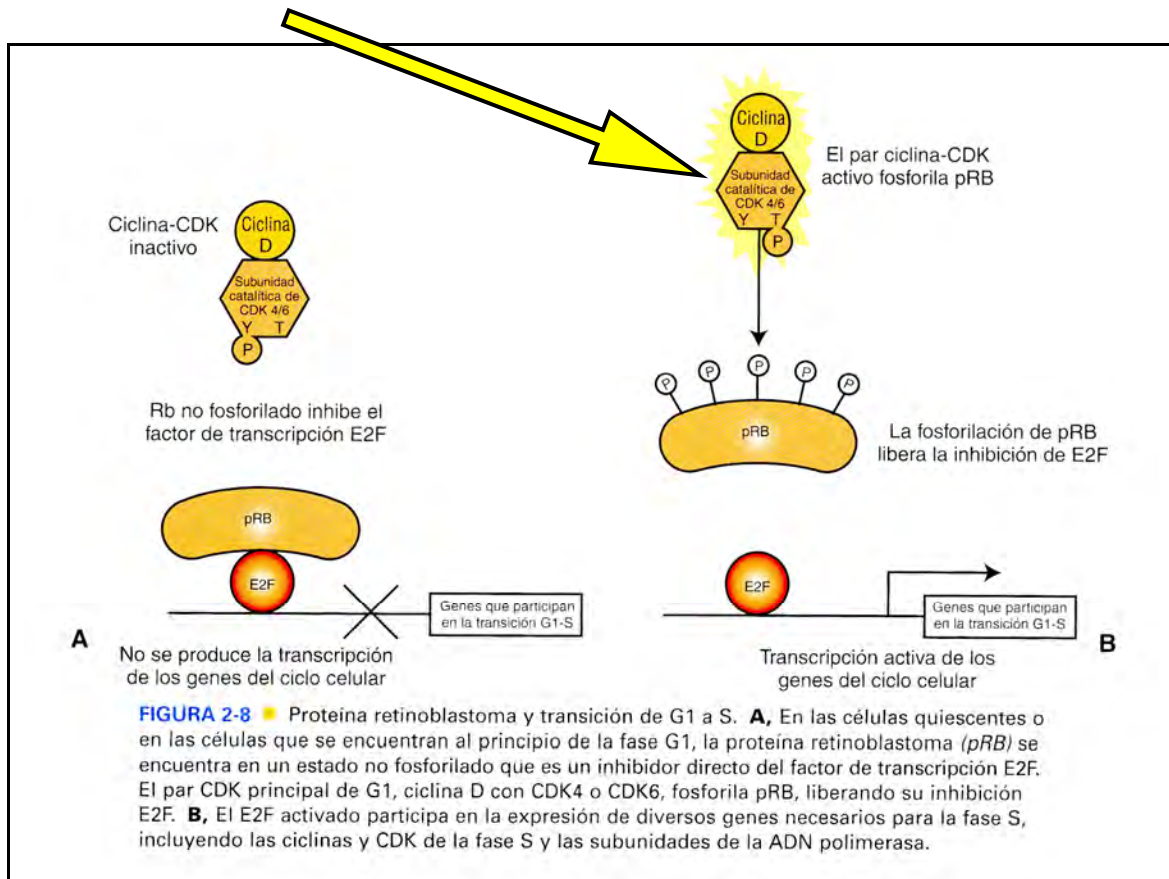


Figura 93: Representación de actividad mediante formas radiadas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

CAMBIO MORFOLÓGICO

Definición

Cambio de la forma de alguien o algo. La morfología de un objeto real se modifica siempre que varía alguna de las siguientes cualidades: volumen, color, textura o tamaño.

Recursos empleados

Existen diferentes situaciones fisiológicas y patológicas en las que existe una modificación de la morfología del modelo. Estas suponen generalmente un cambio en su forma exterior (volumen) o en su composición, lo que se refleja en su representación mediante cambios en la figura, el tamaño, el color o la textura. En las imágenes analizadas el cambio de morfología se mostró en la mayor parte de las ocasiones mediante la repetición de elementos con alguna modificación de su forma en diferentes posiciones (87%). En la mayor parte de estos casos, el orden de la secuencia quedaba reforzado por la utilización de flechas para enlazar unas etapas con otras e indicar el sentido del proceso (66%). Además, se utilizaron caracteres numéricos o alfabéticos para recalcar el orden secuencial en un 12% de las figuras. En aproximadamente la mitad de los casos, la secuencia se componía de más de dos imágenes (47%), mientras que en la otra mitad, ésta estaba formada únicamente por una fase inicial y otra final (53%). La ordenación espacial de las secuencias fue principalmente de derecha a izquierda (36%), aunque también fue frecuente la disposición de arriba hacia abajo (29%) o circular (20%). Únicamente en el 15% de los casos las secuencias tenían una ordenación en el plano diferente a las mencionadas. Dentro de las ordenaciones cíclicas, fue más habitual la colocación en sentido horario (75%) que antihorario (25%). En aquellas ocasiones en que no se representó el cambio morfológico mediante una secuencia (13%), se emplearon fundamentalmente

flechas para indicar el sentido en el que iba a tener lugar la transformación o la fuerza que iba a ser aplicada para producirla. Finalmente, en un 27% de casos se incluían textos en las figuras con explicaciones sobre lo que acontecía en cada fase de la transformación descrita. A continuación se tratan las que se han encontrado con más frecuencia en los tratados analizados: cambio de postura, *desarrollo*, *maduración*, *metamorfosis*, *diferenciación*, *malignización* y *degeneración*.

Cambio de postura

Según la RAE, la postura es la “planta, acción, figura, situación o modo en que está puesta una persona, animal o cosa”. El cambio de postura implica el cambio de posición o de orientación de alguna de las partes del modelo sin que exista necesariamente un desplazamiento o giro evidente del mismo en su conjunto, aunque suele asociarse a ellos en los movimientos de locomoción que realizan los seres vivos. Se trata de un cambio de forma transitorio, que a diferencia de otros tipos de transformación, no suele producir alteraciones estructurales estables.

Se pueden considerar diferentes modalidades dentro de este concepto, tales como la apertura, cierre, pliegue, despliegue, contracción o relajación. Para su representación se ha recurrido en todos los casos al cambio de figura, mostrado progresivamente en dos o más fases (Figura 94). La secuencia se ordenó generalmente mediante una adecuada disposición en la imagen de las sucesivas etapas (principalmente de arriba abajo) y en muchos casos se reforzó dicho orden mediante caracteres alfabéticos o flechas, especialmente cuando se representaron tres o más fases.

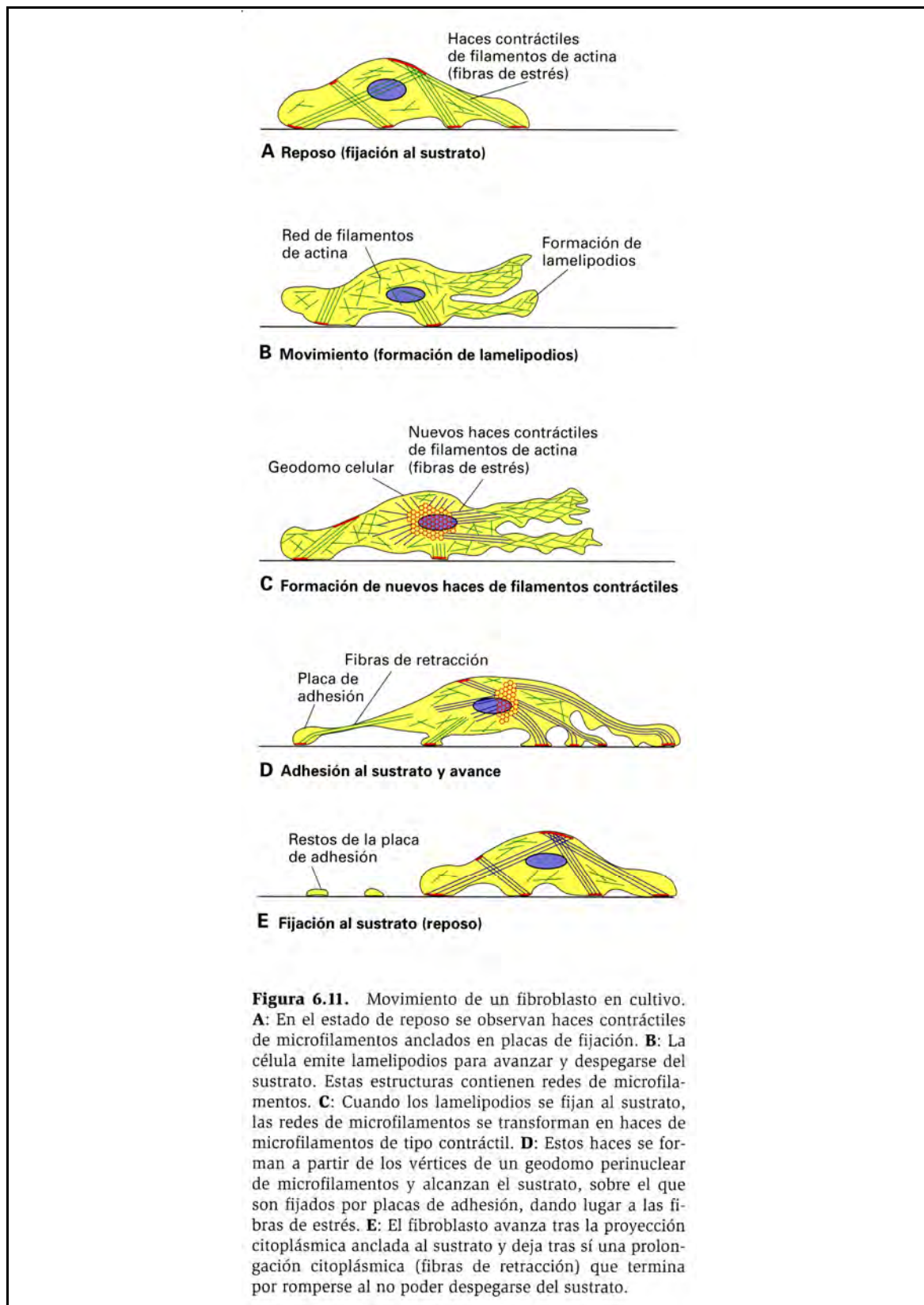


Figura 94: Cambio de forma debida al movimiento y representada por cambio de figura (Tomado de Paniagua et al., 2007).

Diferenciación

La diferenciación es el conjunto de cambios en la estructura o en la función de una célula, órgano u organismo que conducen a su especialización. En general supone un cambio de la forma exterior del modelo, así como de su composición y tamaño. En las imágenes analizadas se encontraron básicamente procesos de diferenciación celular. Estos se indicaron a menudo mediante diagramas en los que se mostraba secuencialmente la especialización de diferentes células y en otros casos mediante la presentación del estado inicial y final del proceso.

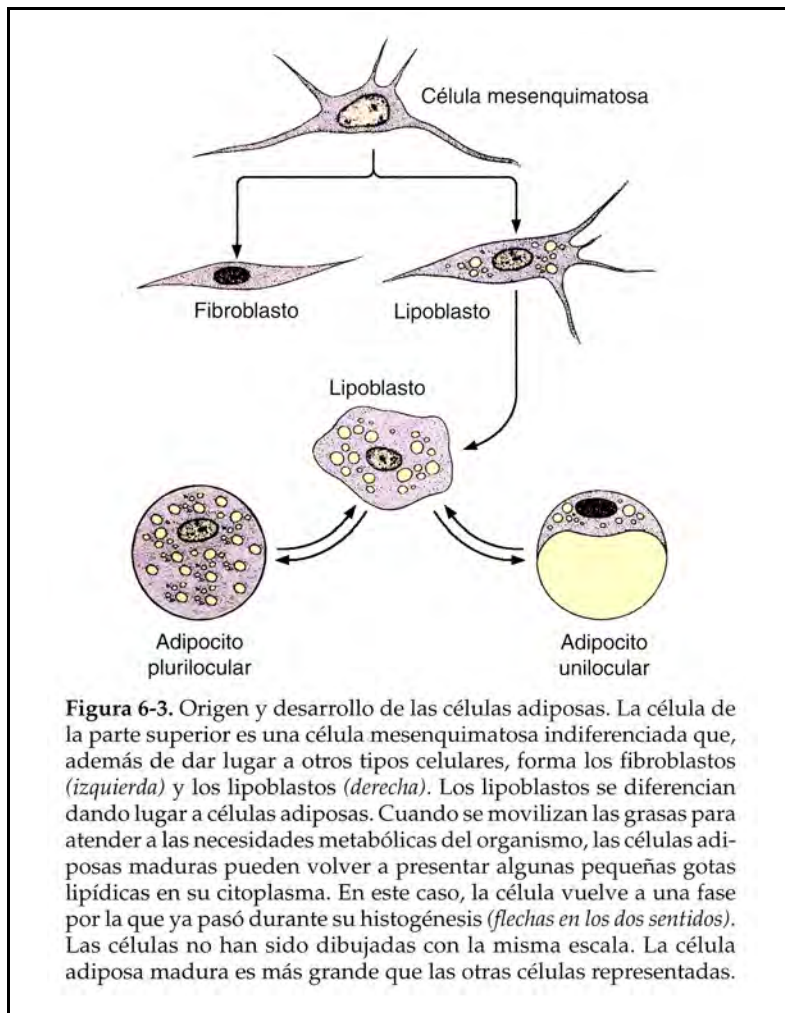


Figura 6-3. Origen y desarrollo de las células adiposas. La célula de la parte superior es una célula mesenquimatosa indiferenciada que, además de dar lugar a otros tipos celulares, forma los fibroblastos (izquierda) y los lipoblastos (derecha). Los lipoblastos se diferencian dando lugar a células adiposas. Cuando se movilizan las grasas para atender a las necesidades metabólicas del organismo, las células adiposas maduras pueden volver a presentar algunas pequeñas gotas lipídicas en su citoplasma. En este caso, la célula vuelve a una fase por la que ya pasó durante su histogénesis (flechas en los dos sentidos). Las células no han sido dibujadas con la misma escala. La célula adiposa madura es más grande que las otras células representadas.

Figura 95: Diferenciación celular representada mediante diagrama (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

En cada fase se modificaba la figura, la forma, el color, la textura y el tamaño de las células. Las flechas fueron el elemento de enlace preferido. Insertar imagen alusiva.

Degeneración

La degeneración consiste en el deterioro estructural de una célula o tejido, lo que suele manifestarse a través de un cambio en la forma exterior, la composición y la estructura interna de los mismos. En las imágenes estudiadas, esto fue representado mediante cambios en la figura, color y textura. Éste fue un concepto escasamente representado en los tratados analizados, debido seguramente a la naturaleza de las materias tratadas. Es probable que este fuera más abundante en tratados de anatomía patológica, patología general, cirugía, etc.

Maduración

Se trata del proceso mediante el cual se adquiere un desarrollo completo. Supone principalmente un cambio de morfología y composición del modelo y con frecuencia va asociado al crecimiento o aumento de tamaño de éste. Este concepto es habitualmente representado en relación con células, órganos y organismos. Esta fue la modalidad más frecuente de las encontradas para indicar un cambio de morfología del modelo. Fue representada con frecuencia como parte del ciclo vital de una célula u organismo, en el que se mostraban los diferentes estados de madurez junto con la forma de reproducción de estos. Habitualmente la ilustración adoptó la forma de una secuencia indicada mediante flechas y reforzada por la disposición de las sucesivas fases (generalmente cíclica). En ocasiones se utilizaron caracteres para ordenarlas.

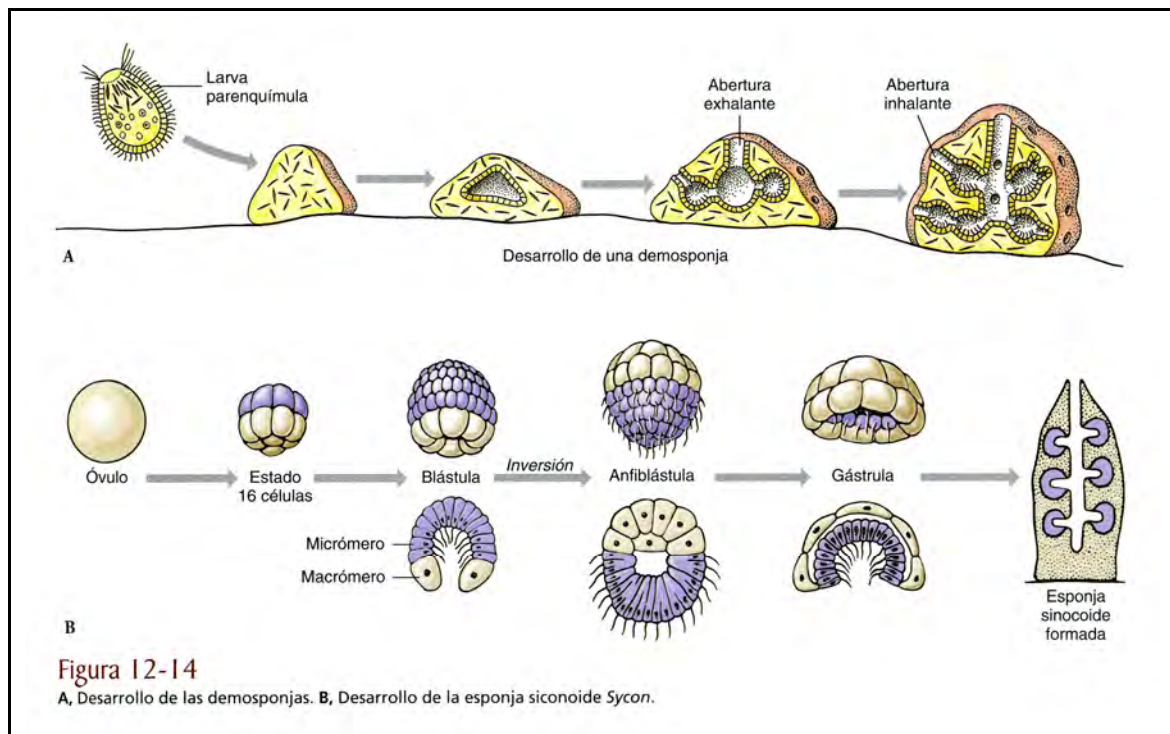


Figura 96: Sendos procesos de maduración o desarrollo (A y B) representados mediante secuencia enlazada por flechas (Tomado de Hickman et al., 2006).

Malignización

La malignización es la transformación de un proceso benigno en maligno, es decir, que tiende a empeorar gravemente y a causar la muerte. Habitualmente hace referencia al proceso mediante el cual una célula se convierte en cancerosa o maligna. Este último fenómeno suele involucrar un cambio de forma y composición química de las células implicadas, que con frecuencia adoptan un aspecto más inmaduro, menos diferenciado. Dado que existen muchos tipos de células malignas, la representación de este tipo de transformación depende del aspecto que estas adopten al microscopio. No obstante, este proceso se representó fundamentalmente como una secuencia en la que se mostraba el aspecto de las células en diferentes momentos del mismo. En los casos más esquemáticos se representó sólo la apariencia inicial y final. Se utilizaron fundamentalmente flechas para indicar el sentido de la transformación. Los cambios

morfológicos en las células se expresaron mediante cambios de figura, color y textura fundamentalmente.

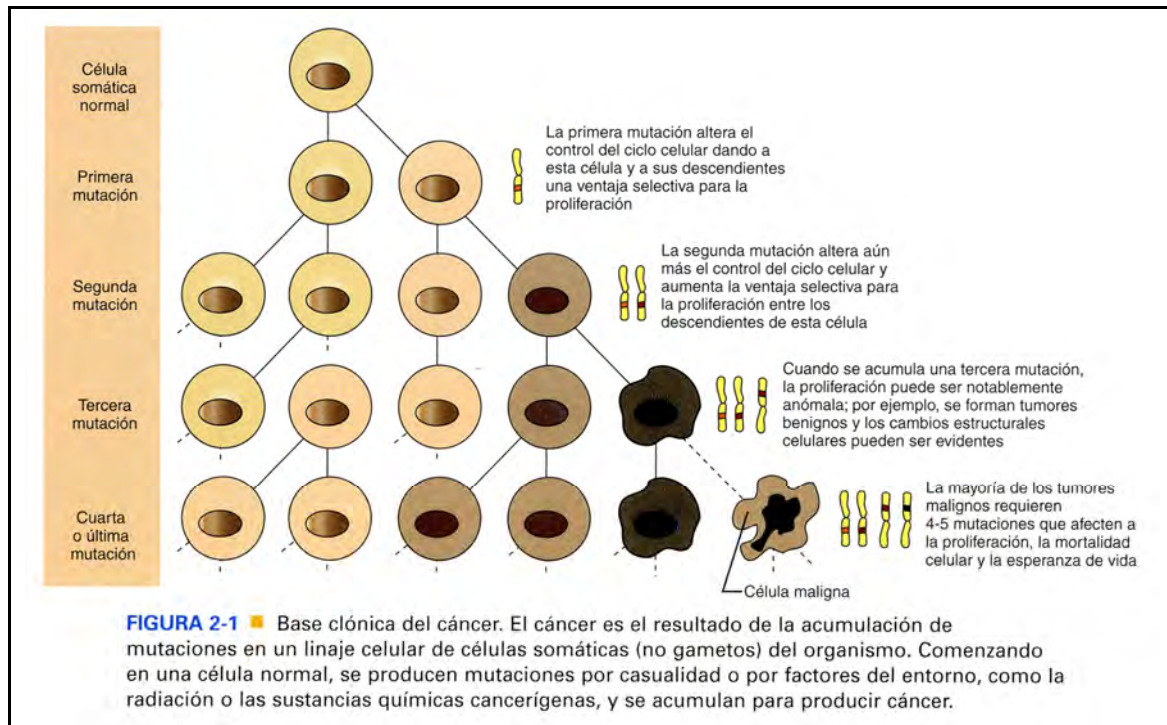


Figura 97: Representación de proceso de malignización a partir de una célula normal (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

Metamorfosis

Cambio que experimentan muchos animales durante su desarrollo, y que se manifiesta no solo en la variación de forma, sino también en las funciones y en el género de vida. Habitualmente se mostró mediante la representación de los momentos inicial y final unidos por flechas que establecían el sentido del cambio. La transformación producida se representó fundamentalmente mediante cambios de figura, textura y color. En los casos en que conlleva un cambio de tamaño, también suele ser representado.

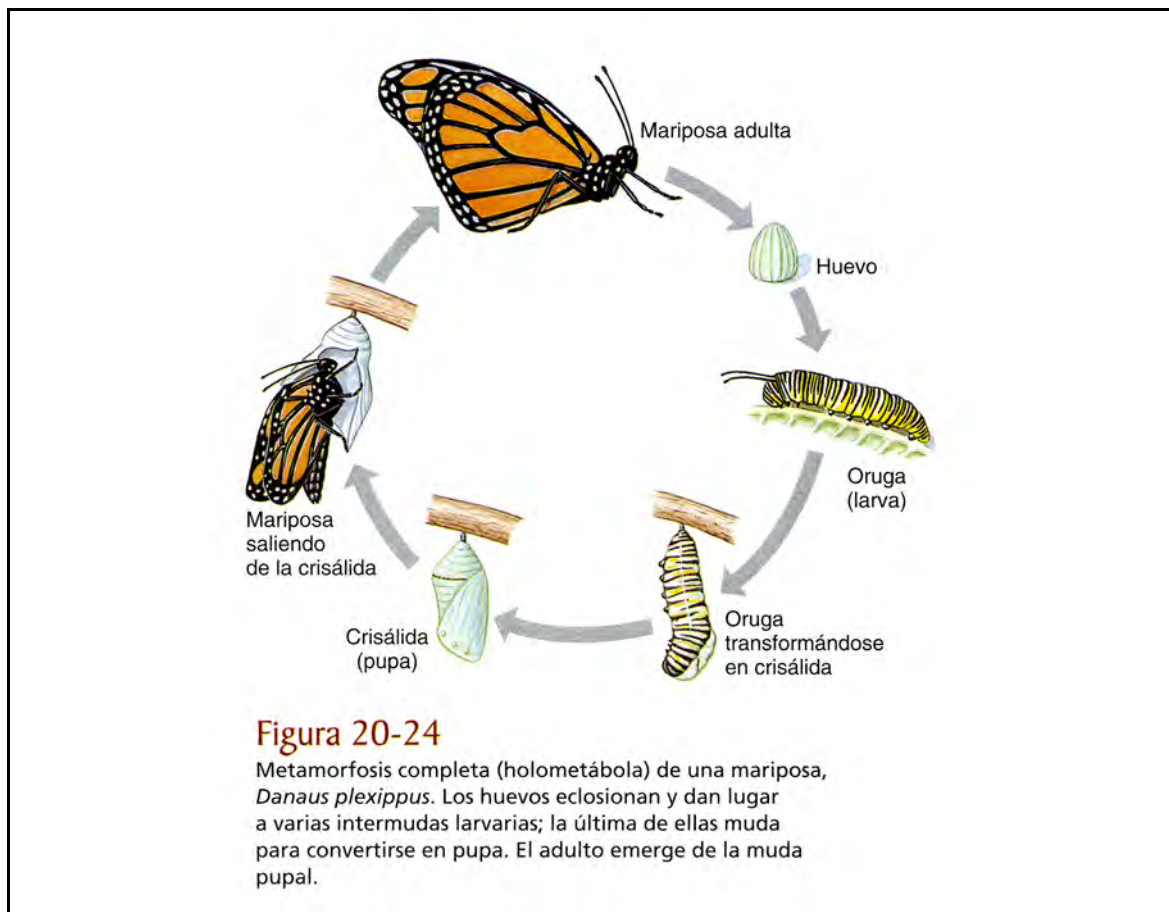


Figura 98: Representación de metamorfosis mediante secuencia cíclica enlazada por flechas (Tomado de Hickman et al., 2006).

DESTRUCCIÓN

Definición

Consiste en la desintegración o reducción del modelo a pedazos o partículas. Existen diferentes formas de destrucción frecuentemente manejadas en los tratados científicos. Entre ellos, podemos considerar los diferentes tipos de muerte celular (tales como *necrosis* o *apoptosis*), la digestión (de alimentos, *orgánulos celulares*, microorganismos, etc.), o la lisis (rotura) de moléculas.

Recursos empleados

Casi todos estos fenómenos se expresaron de una forma similar, mediante la interrupción en múltiples puntos del trazo de contorno (89%), frecuentemente acompañada de la alteración de la figura (67%) como la aparición de irregularidades en la periferia en forma de sacabocados. Con frecuencia se reflejó la salida del contenido al exterior mediante un cambio de posición de los elementos y el uso de degradados de color desde el color de relleno al color del fondo en caso de tratarse éste de un fluido o material en polvo (Figura 99).

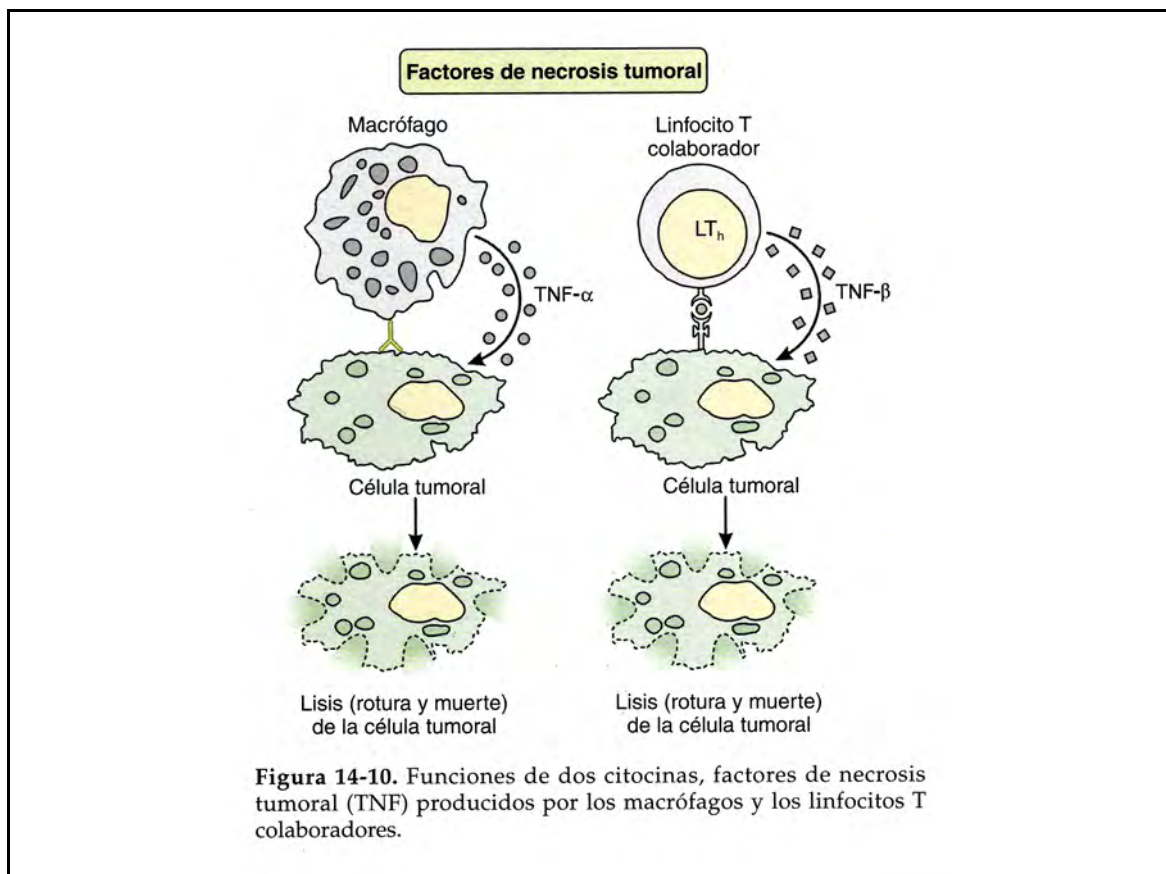


Figura 99: Dos procesos de destrucción de células tumorales representados mediante sendas secuencias enlazadas por flechas en la que se emplea un cambio de figura, una modificación del trazo de contorno (pasando a ser de línea discontinua) y un degradado de color sugiriendo la salida del contenido de la célula (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

DIFERENCIA ENTRE ELEMENTOS

Definición

Cualidad o accidente por el cual algo se distingue de otra cosa.

Aunque uno de los aspectos que mejor contribuyen a la discriminación de unos elementos de otros es su apariencia física. No obstante, la morfología del modelo será tratada más adelante (ver página 284). En este apartado, sin embargo, vamos a tratar aquellos recursos gráficos que ayudan a distinguirlos de una manera artificial, ya sea resaltando alguna característica específica de uno de ellos, atribuyéndoles propiedades diferenciadoras que no poseen o utilizando algún tipo de descripción textual.

Recursos empleados

Se encontraron en las imágenes analizadas diferentes tipos de recursos destinados a la diferenciación de elementos, partes, procesos, etc., tales como la modificación de las cualidades de las formas dibujadas, la rotulación, las leyendas o las referencias en el pie de imagen.

Cambios en las formas dibujadas

La cualidad de la forma a la que más se recurrió para diferenciar gráficamente elementos similares fue el color (76% de los casos). En estas figuras, el color actuaba no sólo reproduciendo las diferencias cromáticas reales de unos y otros elementos, sino creándolas cuando éstas no existían o exagerándolas mediante la modificación del tono, brillo o saturación (Figura 100). Los cambios de color afectaron sobre todo al relleno y ocasionalmente al trazo.

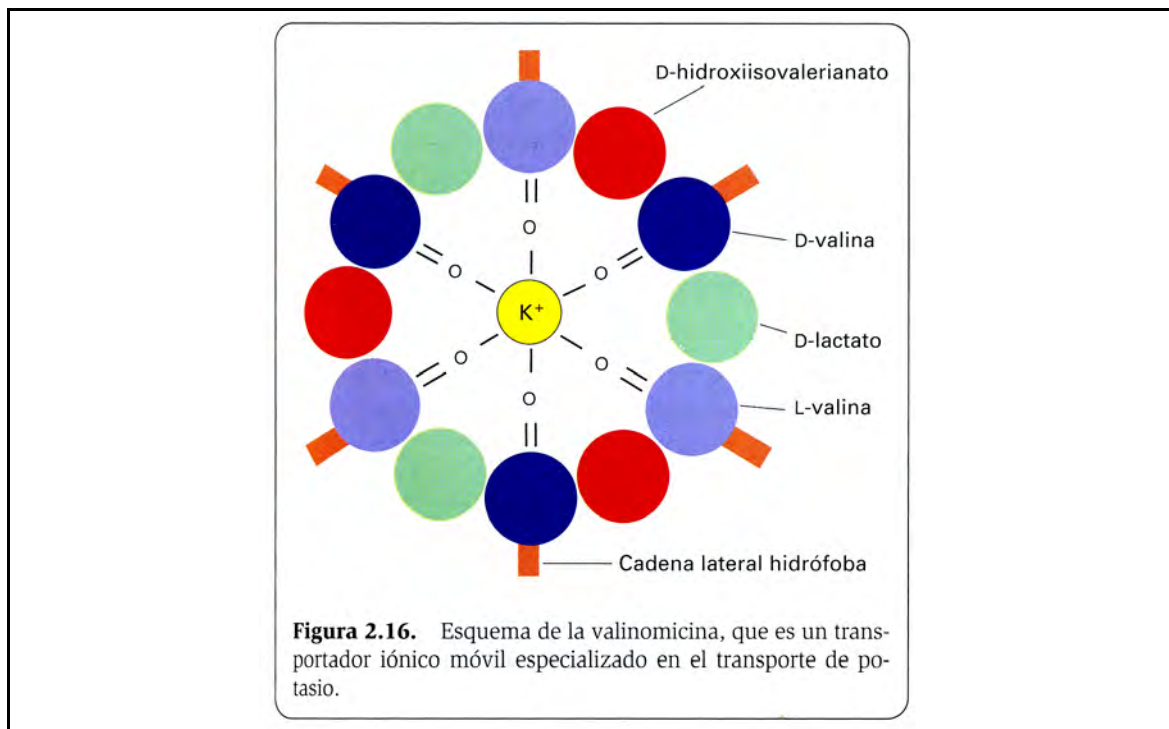


Figura 100: Diferenciación de elementos utilizando varios colores (Tomado de Paniagua et al., 2007).

También fueron frecuentes (57%) las modificaciones en la figura para resaltar diferencias entre elementos, especialmente la utilización de figuras simbólicas sin parecido real con el modelo o con un parecido muy esquemático. Este recurso se usó sobre todo para elementos de aspecto excesivamente complejo o desconocido, como las moléculas (Figura 101).

La textura decorativa fue asimismo empleada como recurso diferenciador de elementos (12%), principalmente en ilustraciones monocromáticas, aunque también fue utilizada con este objetivo en ilustraciones a color. Otros tipos de textura modeladora o material, crean diferencias orientadas a mostrar la apariencia física del modelo más que a resaltar artificialmente las diferencias entre formas. La textura se modificó sobre todo para el relleno, aunque en ocasiones se utilizó trazo discontinuo o con otro tipo de patrón o textura para diferenciar un elemento de otro. El tamaño

tampoco se utilizó como forma habitual de resaltar diferencias entre objetos, más allá de las desigualdades naturales entre estos. Finalmente, la orientación tampoco fue empleada salvo excepciones.

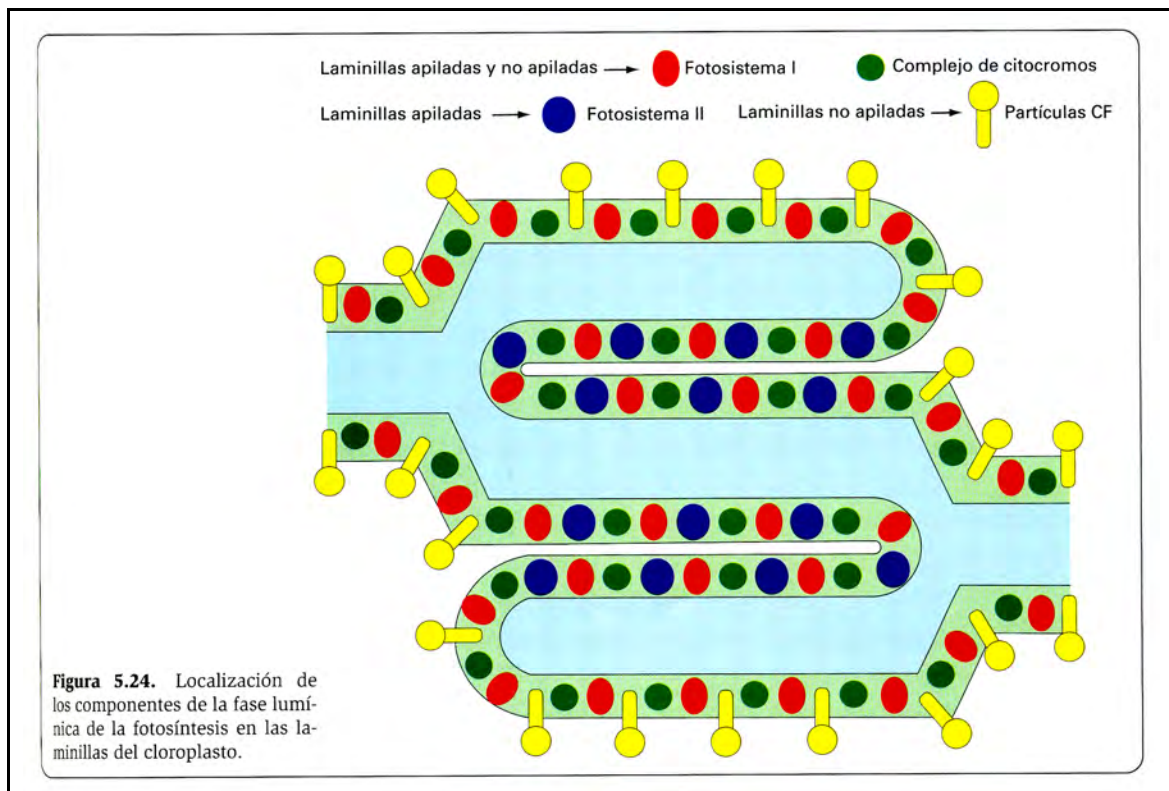


Figura 101: Diferenciación de elementos mediante el uso de diferentes figuras y colores (Tomado de Paniagua et al., 2007).

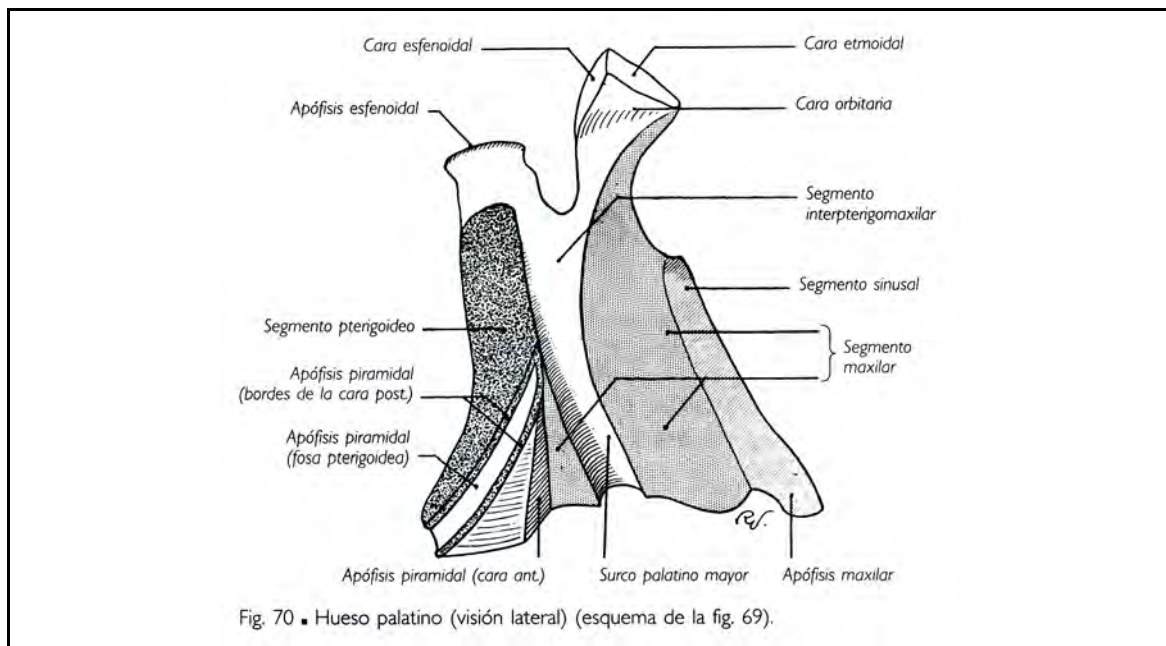


Figura 102: Diferenciación de elementos mediante textura decorativa en imagen monocromática (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

Rotulación

La rotulación se ha utilizado como recurso para diferenciar elementos en el 96% de las imágenes analizadas. Este recurso se ha combinado en ocasiones con referencias en el pie de la figura y esporádicamente con leyendas. Se han identificado distintos sistemas de rotulación en los tratados examinados, repitiéndose metódicamente, salvo excepciones, la forma de señalar elementos en un mismo libro. En la mayor parte de ellos (53%) el recurso básico empleado fue una línea simple (Figura 103), aunque en algunos casos se incorporó a ésta una terminación en círculo (5%).

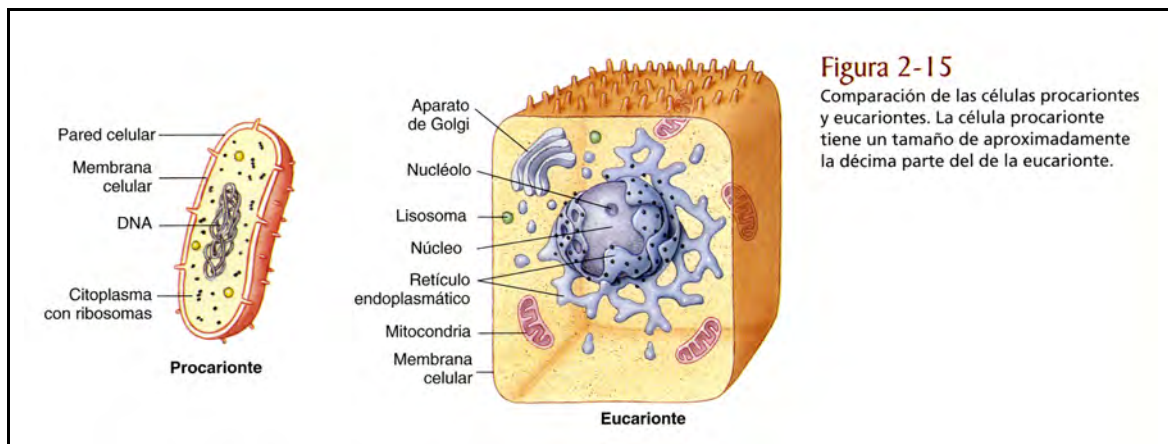


Figura 103: Rotulación mediante líneas rectas. La rotulación de más de un elemento con el mismo texto se realiza por medio de líneas divergentes (Tomado de Hickman et al., 2006).

Los métodos de rotulación mediante línea hallados pueden dividirse en dos grupos, según si ésta es recta o quebrada. El más abundante de los dos (presente en 6 de los 9 tratados analizados) fue el que utilizaba una línea recta para enlazar el rótulo con el elemento señalado en la ilustración. En los casos en los que fue necesario nombrar dos elementos separados con el mismo texto, se utilizaron dos líneas divergentes, generalmente saliendo del mismo punto situado junto al texto y con el ángulo entre ellas variable de unos casos a otros. No obstante, en uno de los tratados, estas líneas divergentes partían de puntos diferentes junto al texto.

El otro grupo hallado de sistemas de rotulación mediante líneas estaba basado en el uso de líneas quebradas. Este método se empleó en tres de los nueve libros considerados. Únicamente en uno de los tres citados tratados se utilizó con preferencia un ángulo constante de 45° entre las dos porciones de la línea quebrada, mientras que en los otros dos se manejó siempre un ángulo variable (Figura 104).

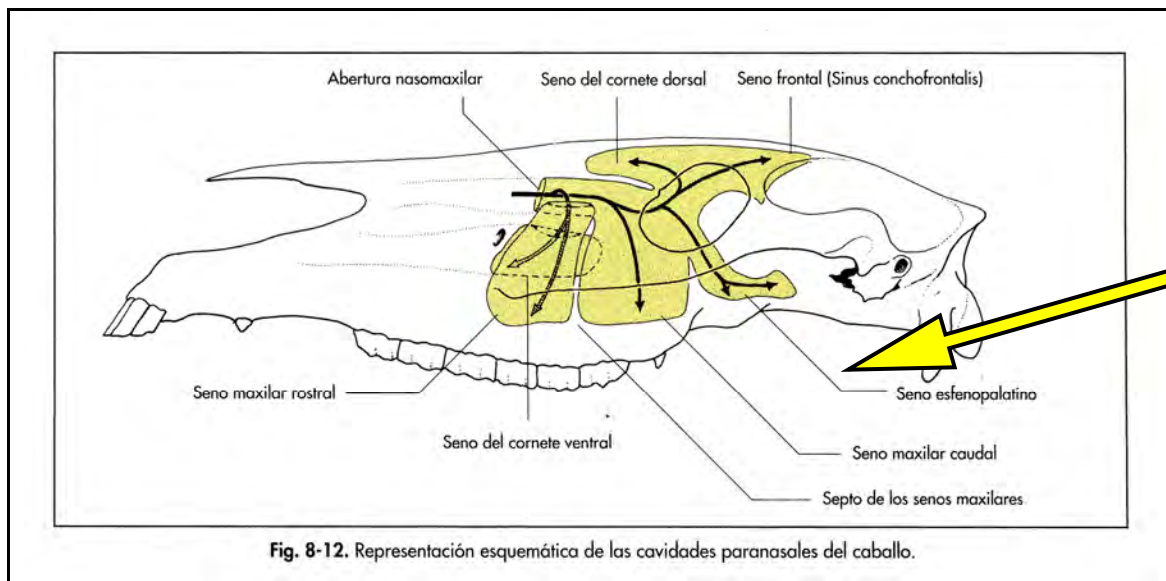


Figura 104: Rotulación mediante líneas quebradas con un ángulo de 45° (Tomado de König y Liebich, 2005).

Se observaron diferencias también entre los tres grupos en el uso de rótulos compartidos por varios elementos, ya que en unos casos, las líneas divergentes partían del mismo punto y con ángulo variable (Figura 105) y en otros, las líneas se disponían en paralelo (Figura 107).

En todos estos tratados se observaron en menor proporción otros tipos de rótulos basados en el uso de llaves o corchetes (6%). Generalmente estos se utilizaron para señalar regiones amplias del objeto representado o para rotular dos o más elementos separados (Figura 106). En algunas figuras, la rotulación de un elemento de grandes proporciones se llevó a cabo también mediante dos líneas rectas que unían el texto con los extremos del área que éste ocupaba.

Otra modalidad de indicador empleado (2%) sobre todo en la rotulación de estructuras tubulares consistió en un lazo o círculo trazado en perspectiva alrededor del elemento y unido al texto por una línea recta o quebrada (Figura 108).

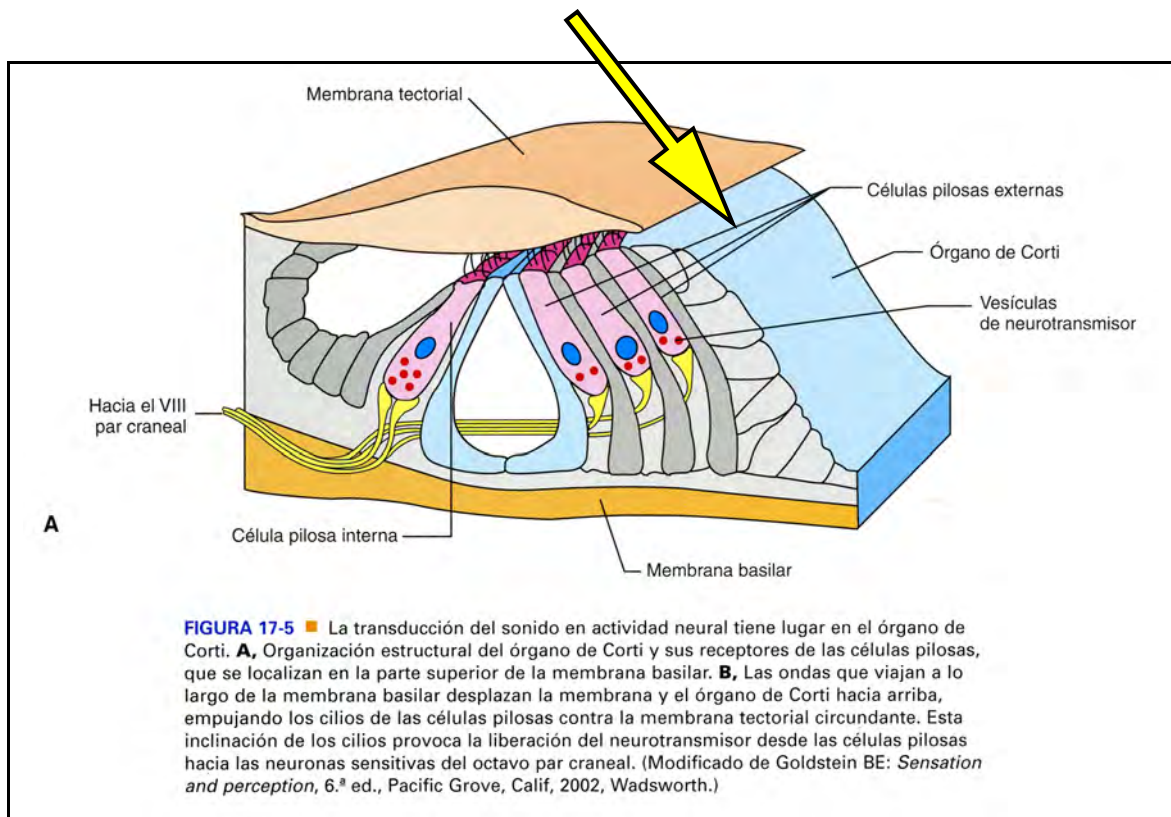


Figura 105: Rotulación de tres elementos semejantes mediante líneas divergentes de ángulo variable en sistema de rotulación de línea quebrada (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

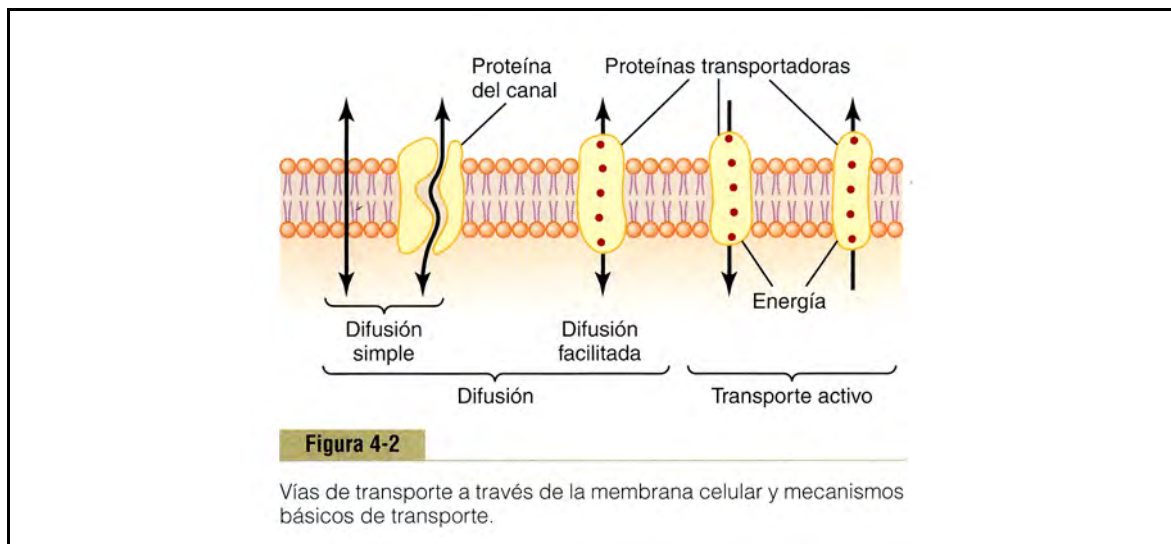


Figura 106: Rotulación de elementos mediante llaves (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

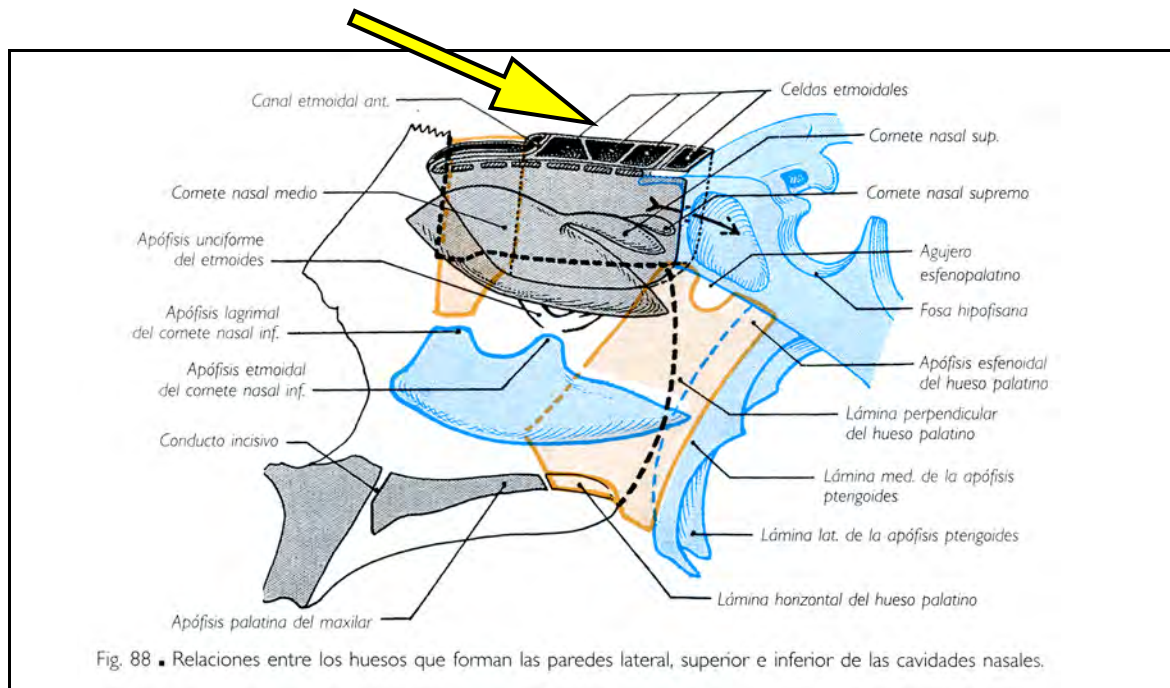


Figura 107: Rotulación de cuatro elementos semejantes mediante líneas paralelas en serie. Las terminaciones de las líneas tienen forma de punto (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

Finalmente, se encontró con relativa frecuencia (34%) otro tipo de rótulo constituido únicamente por texto, situado éste sobre el elemento o en sus proximidades (Figura 109). Este método fue el más empleado en los diagramas, especialmente cuando estos eran complejos. No obstante, también se vio asociado a ilustraciones aisladas, rotulando estructuras que ocupaban una amplia área de la imagen, especialmente cuando éstas estaban situadas en la zona central de la ilustración. También fue frecuente el uso de abreviaturas de los términos que describían las estructuras rotuladas, cuyo significado era normalmente aclarado en el pie de la figura (Figura 109). Esto ha evitado condensar una excesiva cantidad de texto sobre la imagen.

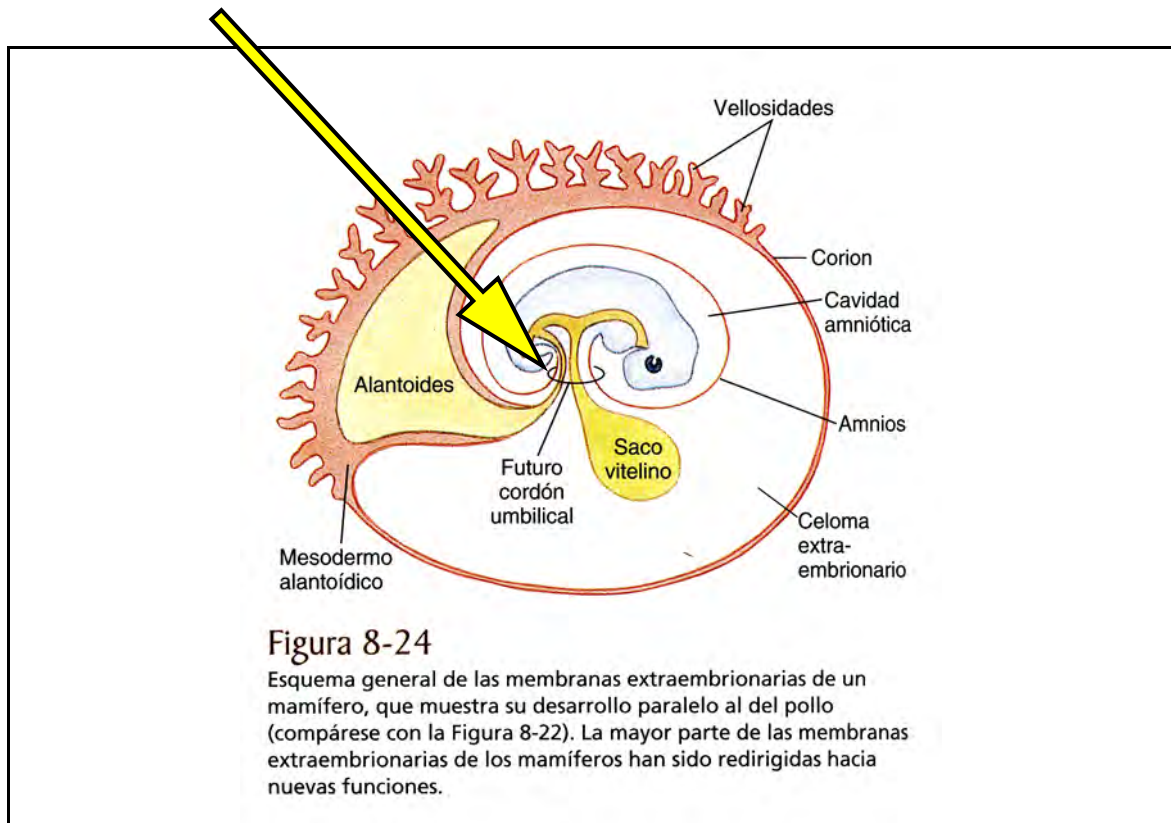


Figura 108: Rotulación de elementos mediante un lazo (Tomado de Hickman et al., 2006).

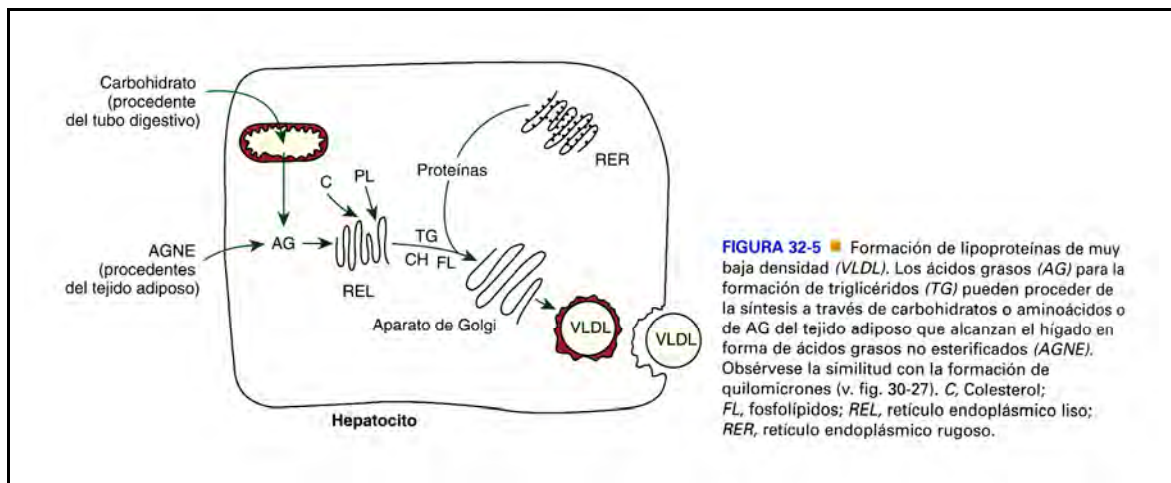


Figura 109: Ilustración rotulada mediante texto situado sobre la estructura o en sus inmediaciones. En algunos casos se han utilizado abreviaturas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

Legendas

Considerando únicamente las leyendas que se referían a ilustraciones o diagramas y excluyendo por tanto las incluidas en gráficos, se han encontrado relativamente pocos casos (3%) en los que la diferenciación entre elementos, partes o procesos estuviera basada en el uso de este recurso. Principalmente se observaron leyendas que relacionaban mediante colores y texturas el elemento referenciado con el texto explicativo (Figura 110). No obstante, en algunos casos aislados, las leyendas utilizaban caracteres alfabéticos o numéricos. Con frecuencia la figura contaba con rótulos, además de las leyendas, para señalar las distintas partes o elementos representados.

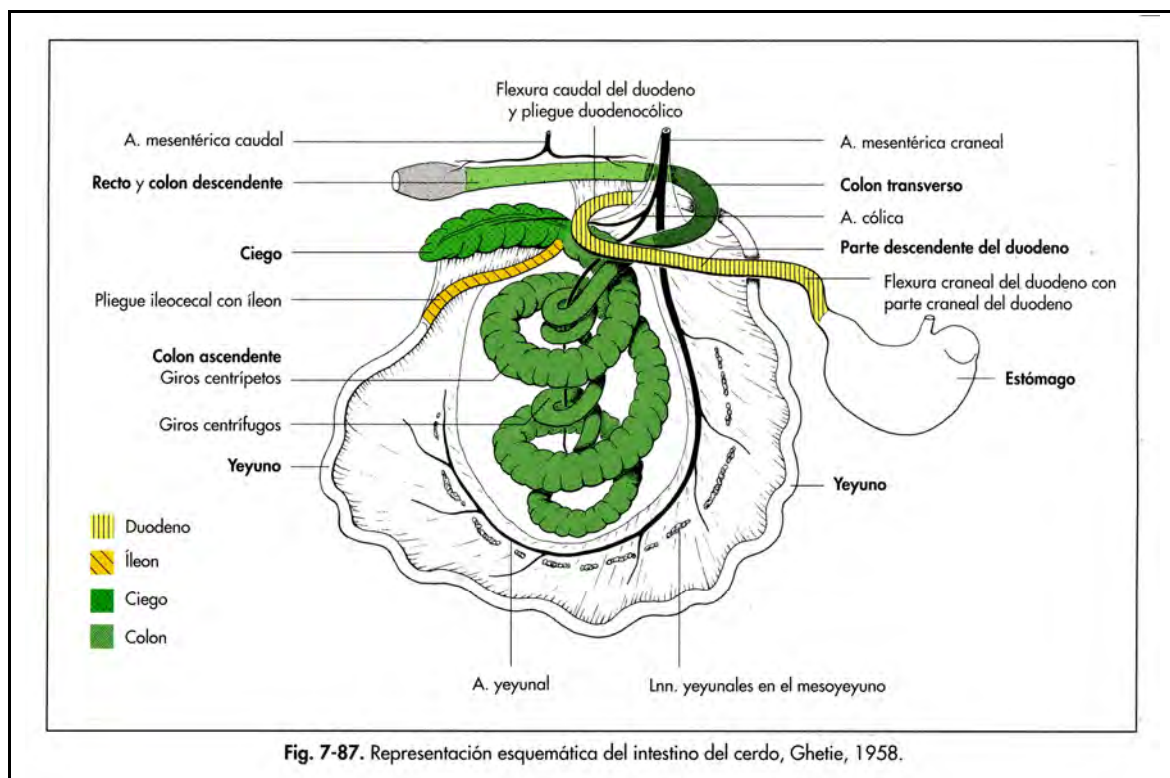


Figura 110: Diferenciación de elementos por medio de leyendas (Tomado de König y Liebich, 2005).

Referencias en el pie de imagen

Este método de diferenciación de elementos se ha encontrado con más frecuencia (26%) en las imágenes analizadas que el uso de leyendas. Habitualmente los elementos se marcaron con un carácter numérico o alfabético que luego aparecía en el pie de imagen junto con un texto explicativo (Figura 111). En otras ocasiones se utilizaron símbolos gráficos o colores para crear la referencia.

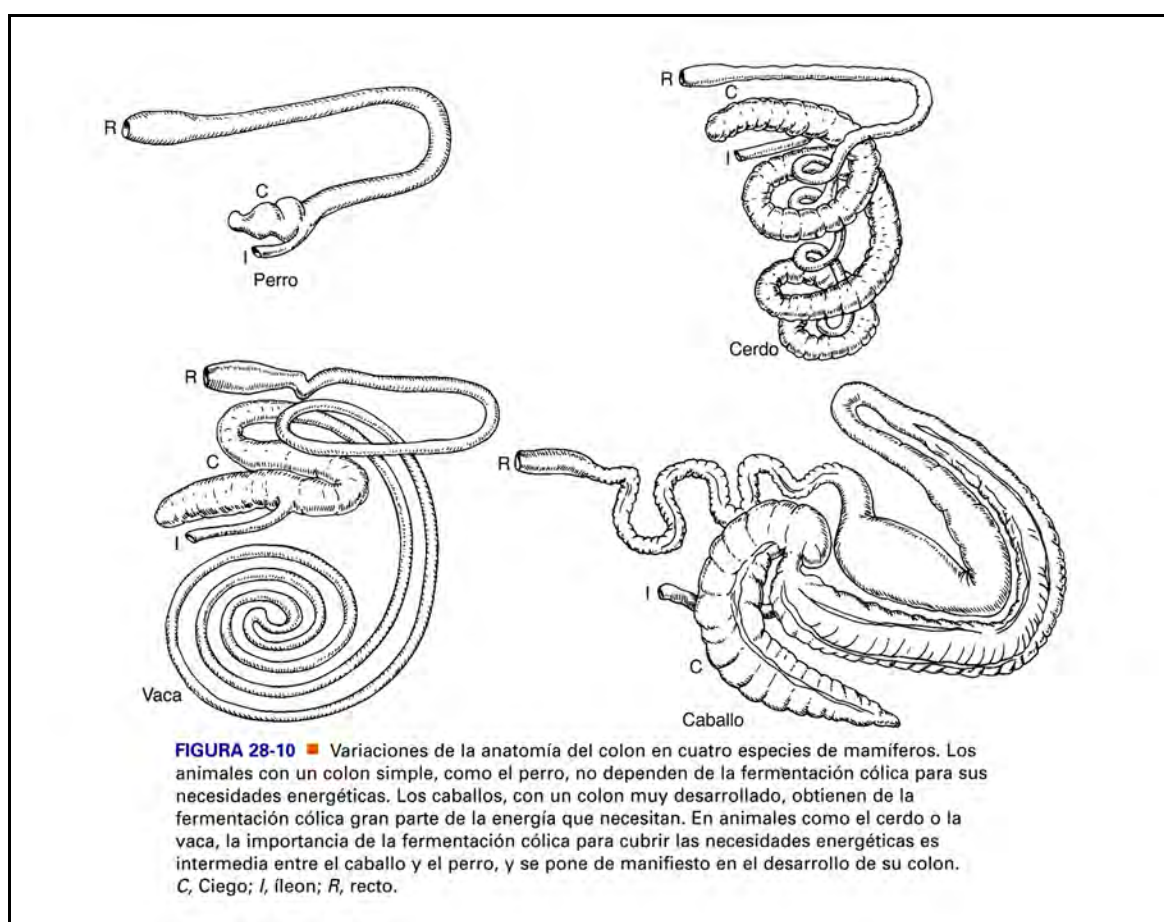


Figura 111: Referencias alfabéticas descritas en el pie de la ilustración (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

Su utilización más frecuente (92%) fue para señalar distintas ilustraciones dentro de la misma figura, que representaban, generalmente mediante caracteres

alfabéticos, distintas fases de un proceso, diferentes modalidades de un elemento, diferentes elementos, diferentes partes de un modelo, etc.

DIVISIÓN

Definición

Acción y efecto de partir o separar en partes.

Recursos empleados

La división o separación de un elemento en dos o más partes es un concepto frecuentemente representado en las ilustraciones científicas. Se han encontrado diferentes modalidades de división en las imágenes valoradas, siendo las más frecuentes el fraccionamiento de elementos, el despiece de estructuras compuestas, la *multiplicación* celular y la reproducción de organismos.

En la mayor parte de las ilustraciones analizadas en las que aparecía un fenómeno de división, éste se plasmó mediante el uso de flechas asociado a un cambio de forma del elemento en división y a la separación de las partes escindidas (83%). Dentro de esta modalidad, lo más frecuente era el empleo de una flecha inicialmente única que luego se dividía en dos o más (70%) (Figura 112). Otras veces se utilizaban dos o más flechas con direcciones divergentes para enlazar el elemento original con los productos de su división (22%) (Figura 112). Finalmente, en algunos casos estas flechas eran sustituidas por una única flecha (8%).

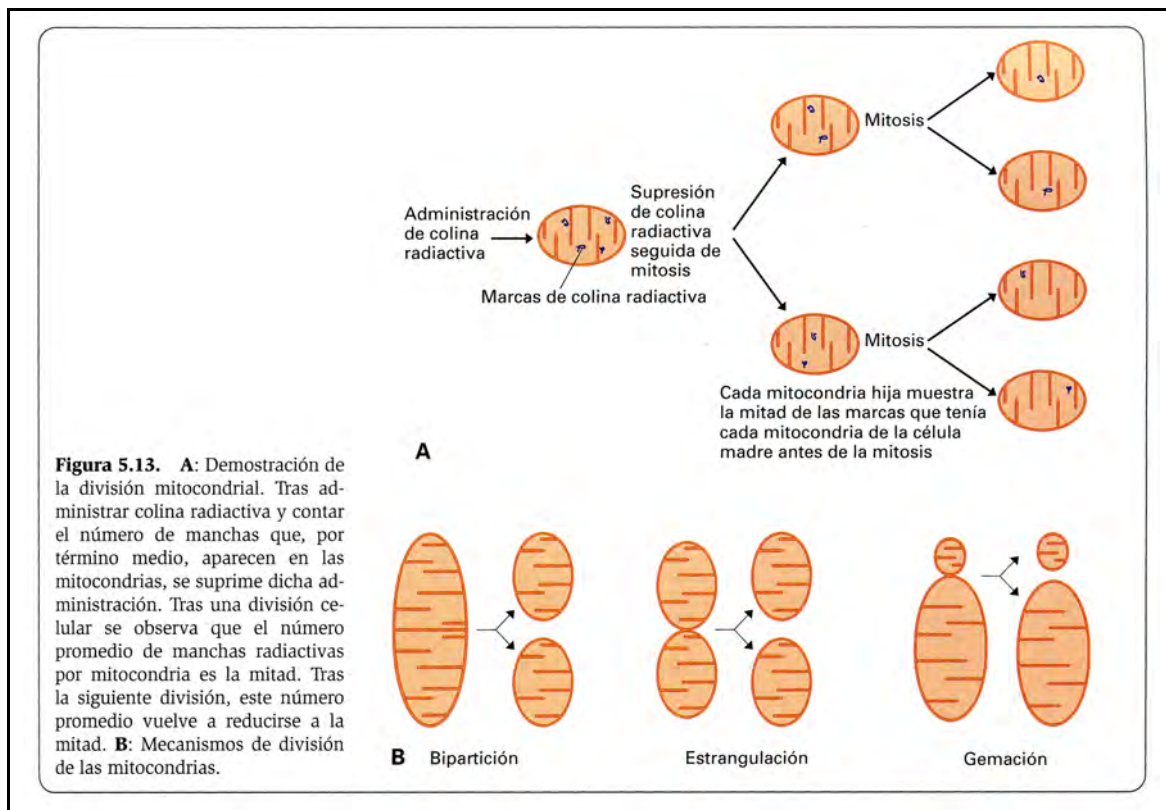


Figura 112: Representación de división con diferentes tipos de flechas. Arriba, mediante flechas de direcciones divergentes. Abajo, mediante flechas únicas que posteriormente se dividen en dos (Tomado de Paniagua et al., 2007).

También se observó con relativa frecuencia (17%) la narración del proceso de división a través de sucesivas etapas en las que se apreciaba un cambio de forma de los elementos participantes. Estas fases eran habitualmente enlazadas mediante flechas u organizadas mediante caracteres numéricos o alfabéticos. También jugó un papel importante en la ordenación de la secuencia la disposición espacial de las etapas, generalmente de izquierda a derecha, de arriba hacia abajo o en sentido horario (Figura 113). En un reducido número de ilustraciones, la división se sugirió únicamente mediante cambios de forma y/o de posición de los elementos escindidos, sin el uso de flechas o caracteres.

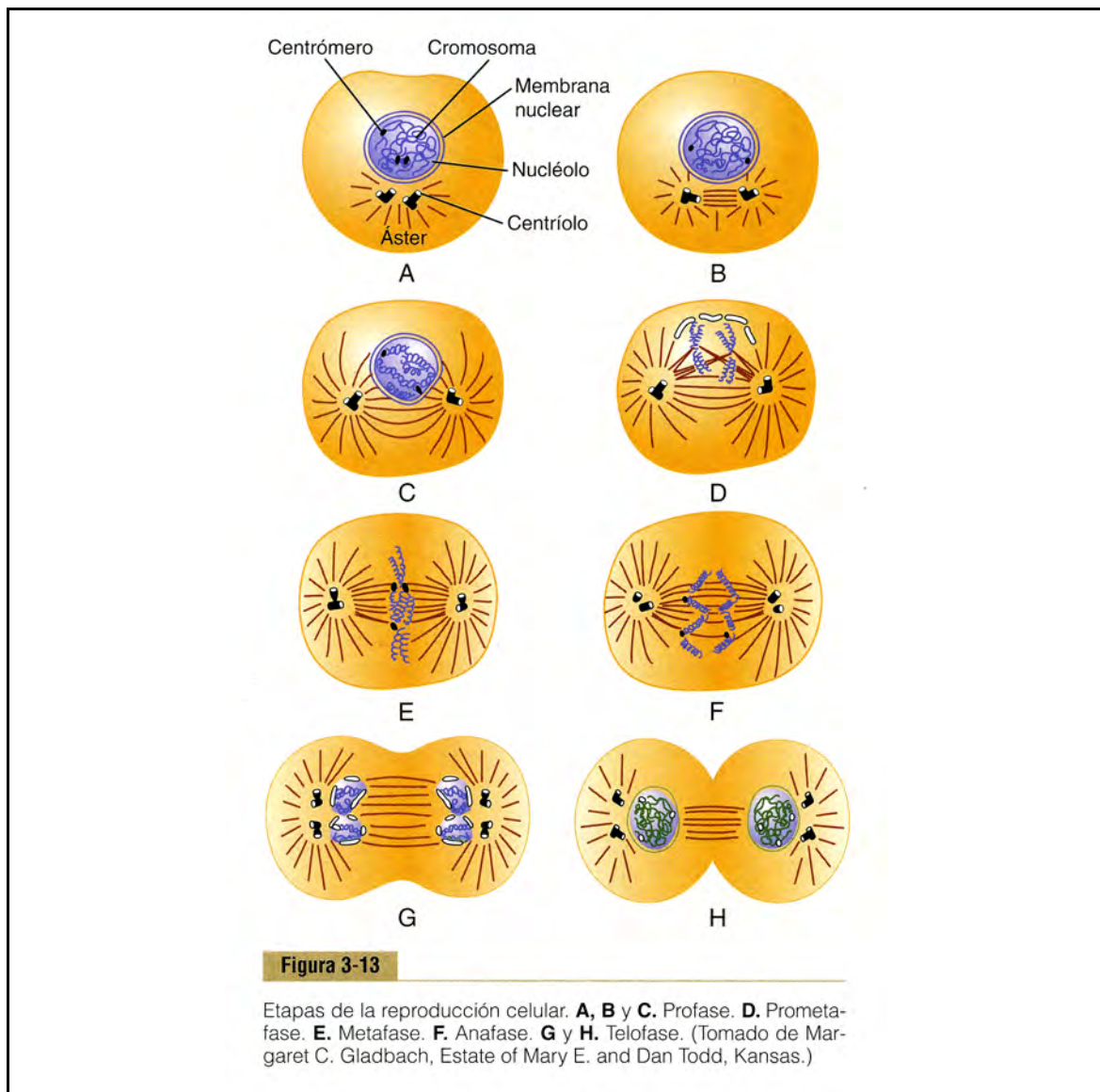


Figura 113: Representación de división mediante una secuencia de ilustraciones ordenada alfabéticamente (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

ENERGÍA

Definición

Eficacia, poder, virtud para obrar. Capacidad para realizar un trabajo.

Recursos empleados

Se observaron diferentes formas de representación según el tipo de energía emitida: calor, luz, electricidad, etc.

Calor

La emisión de calor desde una fuente fue únicamente representada mediante el uso de flechas. En algunos casos se diferenció su trazado según la forma de transmisión (Figura 114).

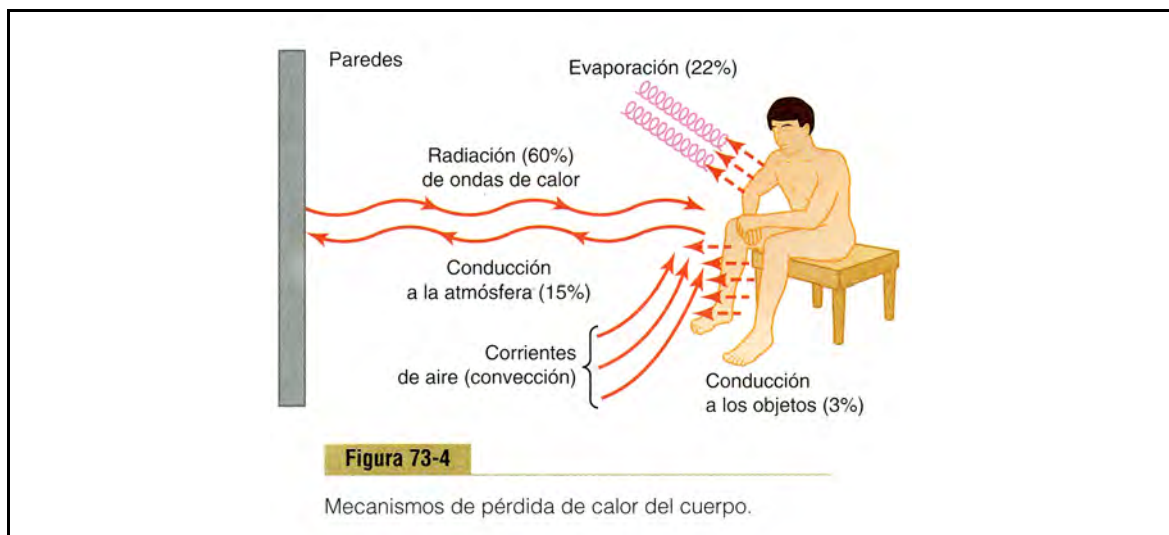


Figura 114: Representación de distintas formas de calor mediante flechas (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

Luz

La luz fue representada principalmente mediante líneas o flechas. La versión más frecuentemente encontrada estaba constituida por una flecha de trazo ondulado regular 32% (Figura 115), aunque en un menor número de ocasiones la flecha se dibujó con una línea de trazo recta (12%).

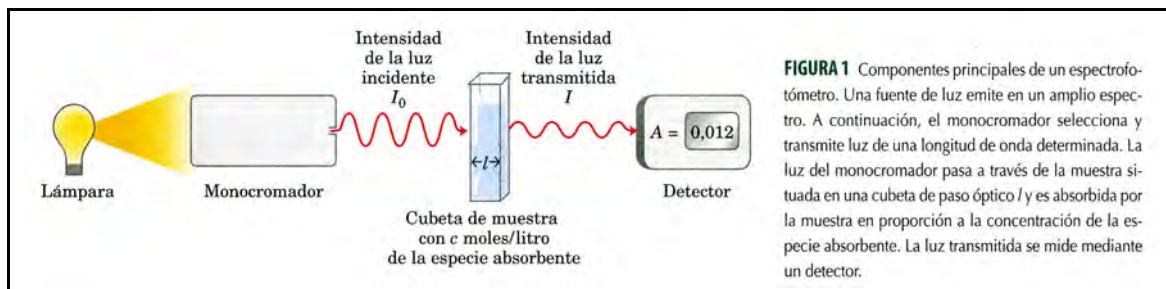


Figura 115: Representación de luz mediante flechas de trazo ondulado (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

Otra forma frecuentemente observada para representar la luz en las ilustraciones analizadas fue trazando el haz de rayos (27%), bien mediante dos líneas que indicaban los márgenes del mismo y que determinaban así su anchura, bien mediante color de relleno degradado (Figura 115) o plano, o bien utilizando ambos recursos (Figura 117). En algunos casos se dibujan múltiples líneas a lo ancho del haz para representar la trayectoria de los diferentes rayos según su posición (20%) (Figura 116).

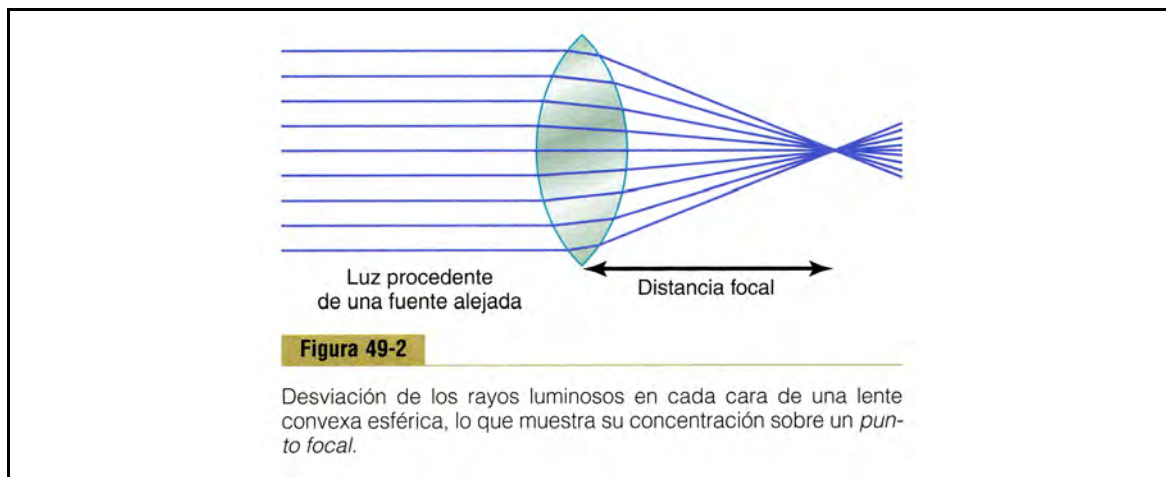


Figura 116: Marcha de rayos de luz representada mediante múltiples líneas (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

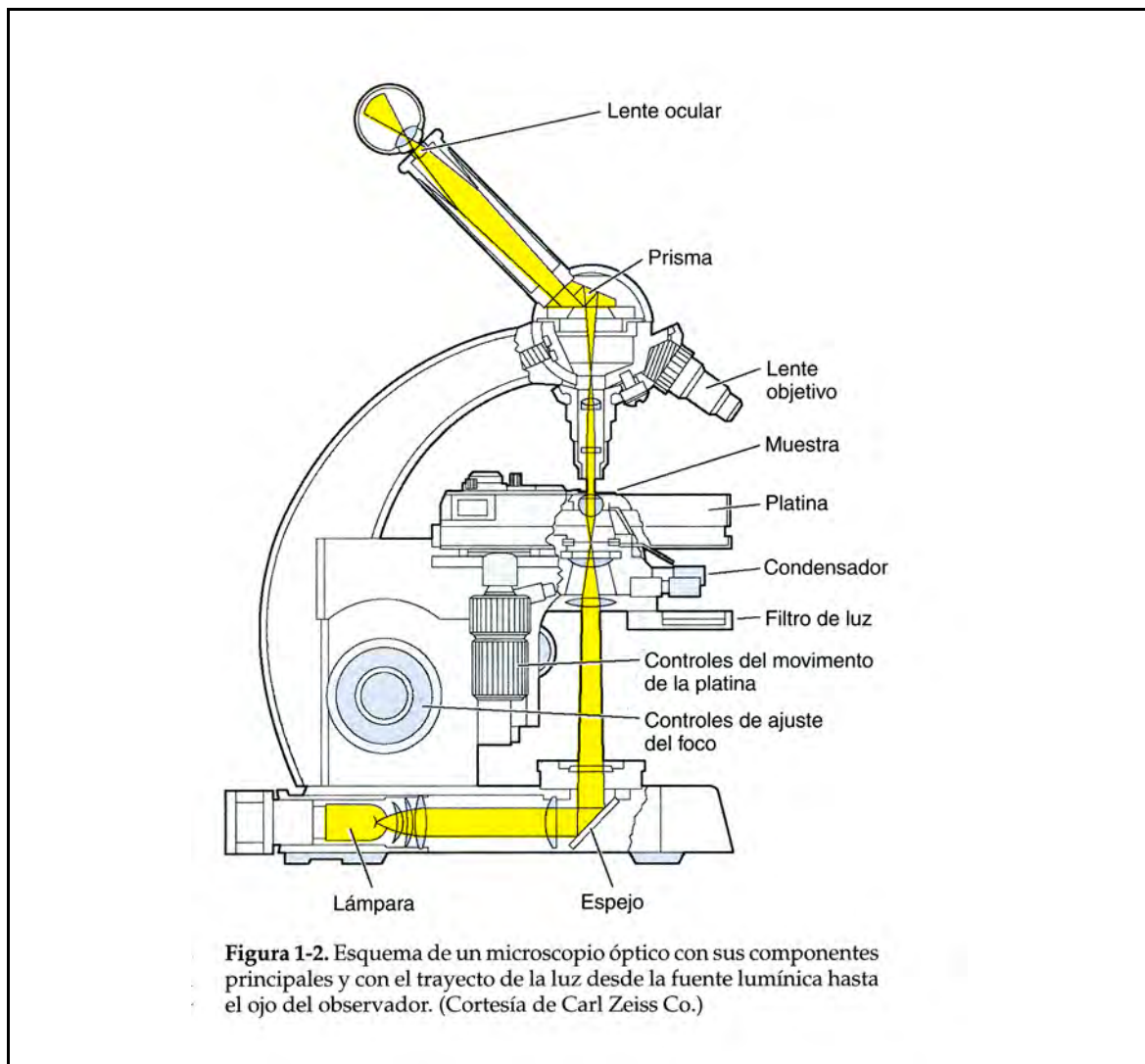


Figura 117: Representación de un haz de luz mediante líneas de contorno y color de relleno (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

En algunas figuras se dibujó de forma adicional la fuente de emisión (por ejemplo una bombilla o el sol) para mostrar más claramente la naturaleza de la radiación (Figura 115). En estos casos, es habitual trazar una corona radiante alrededor de la fuente. Finalmente, en algunas ilustraciones (9%) se utilizó una forma en estrella para simbolizar la luz, normalmente pintada de color amarillo por su asociación con fuentes de luz conocidas como el sol, el fuego o las lámparas incandescentes (Figura 118).

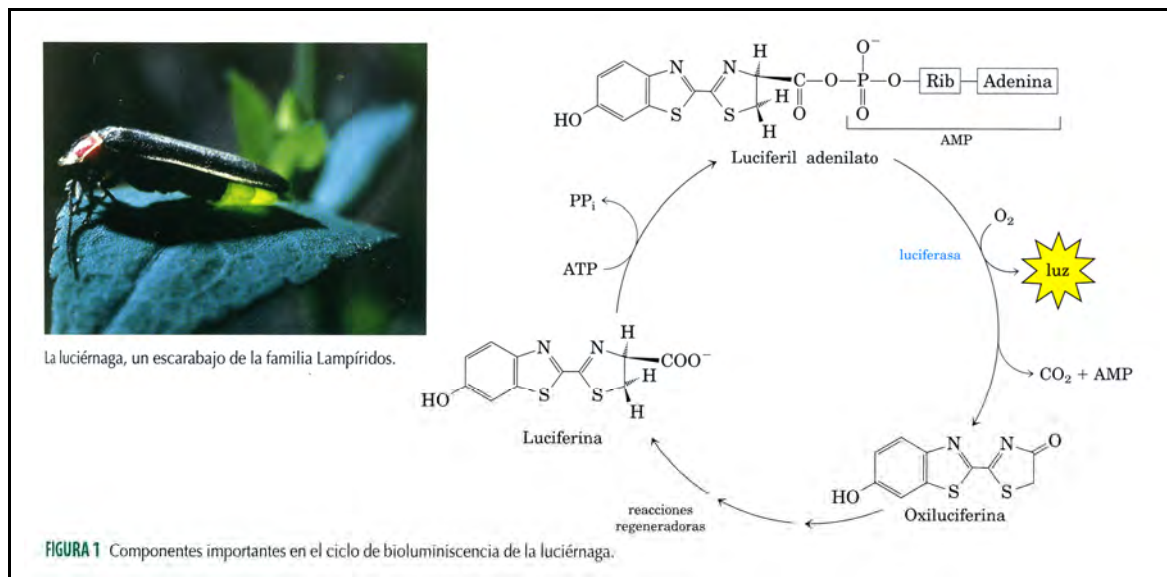


Figura 118: Representación de luz mediante forma radiante y color amarillo (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

Electricidad

La carga eléctrica se representó exclusivamente mediante símbolos “+” y “-“. Ésta hacía referencia tanto a la polaridad de moléculas o membranas celulares, como a la carga iónica de los átomos.

La representación de la transmisión del impulso eléctrico en estructuras biológicas se realizó mediante flechas paralelas a la dirección de propagación, en las que generalmente también se representaba la polaridad a un lado y otro de la membrana mediante símbolos “+” y “-“.

Por otra parte, la transmisión eléctrica a través de aparatos o por el aire se representó siempre mediante una flecha con la línea en zig-zag.

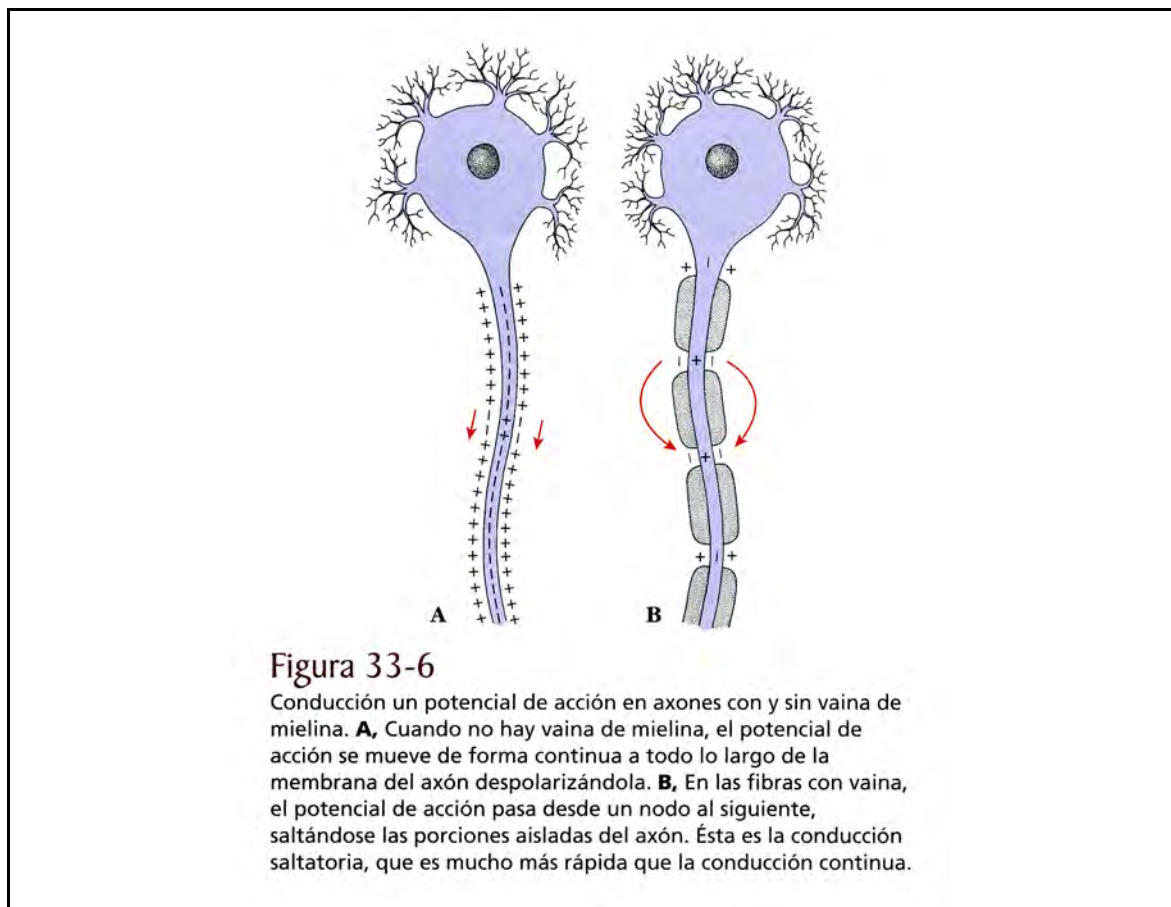


Figura 119: Conducción de estímulo eléctrico representada mediante flechas, en combinación con símbolos "+" y "-" (Tomado de Hickman et al., 2006).

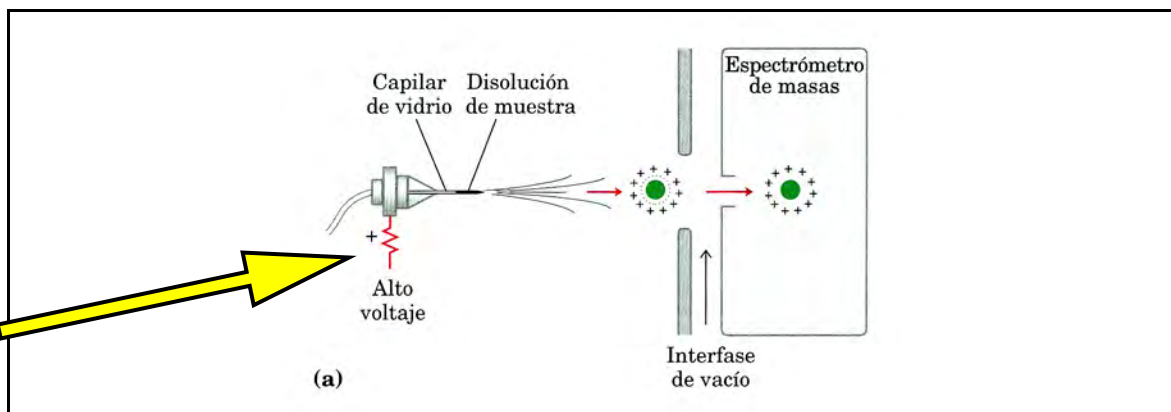


Figura 120: Fragmento de figura en la que se muestra la corriente eléctrica de un aparato mediante una línea en zigzag (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

Energía química

Una de las formas de energía más representadas en las figuras analizadas fue la que se origina en las reacciones químicas a partir de ciertas moléculas, especialmente del *adenosin trifosfato* (ATP). La forma habitual de simbolizar esta energía fue mediante una forma estrellada (Figura 121).

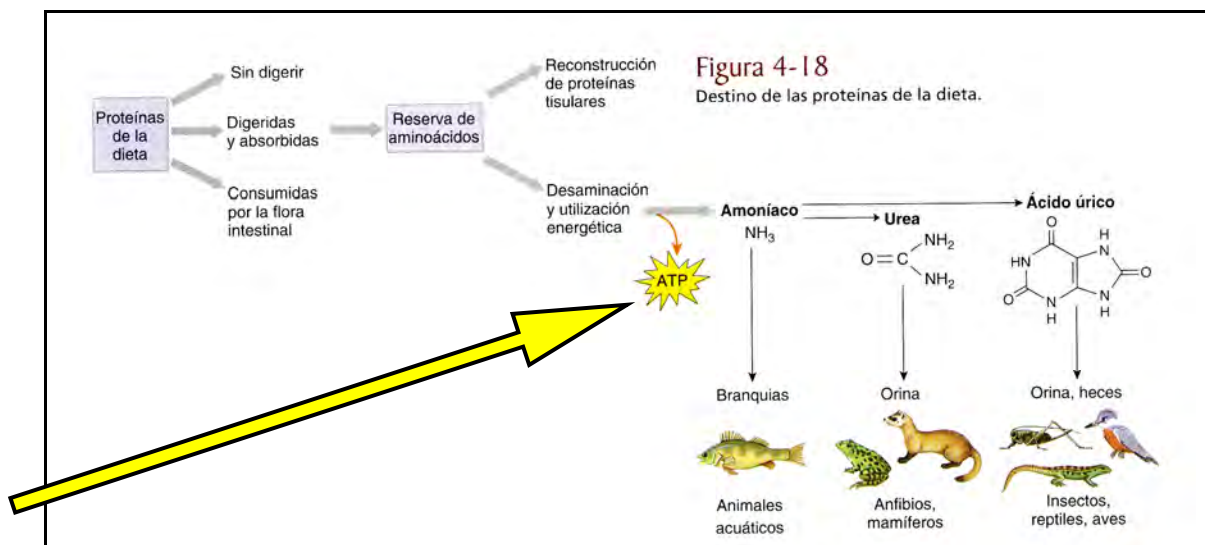


Figura 121: Representación de liberación de energía mediante forma radiante (Tomado de Hickman et al., 2006).

FILOGENIA

Definición

Parte de la biología que se ocupa de las relaciones de parentesco entre los distintos grupos de seres vivos. En biología, origen y desarrollo evolutivo de las especies y, en general, de las estirpes de seres vivos.

Recursos empleados

Existen diferentes sistemas consensuados para representar gráficamente las relaciones filogenéticas entre las distintas especies, cuyo análisis excede los objetivos de esta tesis. No obstante, a continuación se resumen sus características principales.

Fundamentalmente se trata de diagramas arboriformes, conocidos genéricamente como *dendrogramas*, que poseen características particulares dependiendo, entre otras cosas, de la teoría evolutiva en que estén basados. Los *cladogramas* son un tipo de diagrama de árbol en el que se representa un ancestro común para todos los descendientes colocados en las ramas, permitiendo determinar el parentesco evolutivo de las especies (Figura 122). No obstante, sus ramas no reflejan tiempo evolutivo. Este tipo de diagrama es el empleado en la Cladística, la más importante de las sistemáticas filogenéticas. Sin embargo, los *filogramas* son diagramas de árbol en los que las longitudes de las ramas son proporcionales al cambio evolutivo. Por último, en los *fenogramas* la longitud de sus ramas es proporcional al grado de semejanza entre los organismos, no aportando ninguna información sobre su evolución.

Una vez aclarado esto, el tipo de diagrama más empleado en los tratados analizados fue con diferencia el *cladograma* 78%, del cual se hallaron diferentes variantes, siendo la más frecuente la que aparece en la Figura 122.

Además de las relaciones de parentesco entre especies, también se utilizaron diagramas de árbol para representar el origen de diferentes extirpes celulares (Figura 123).

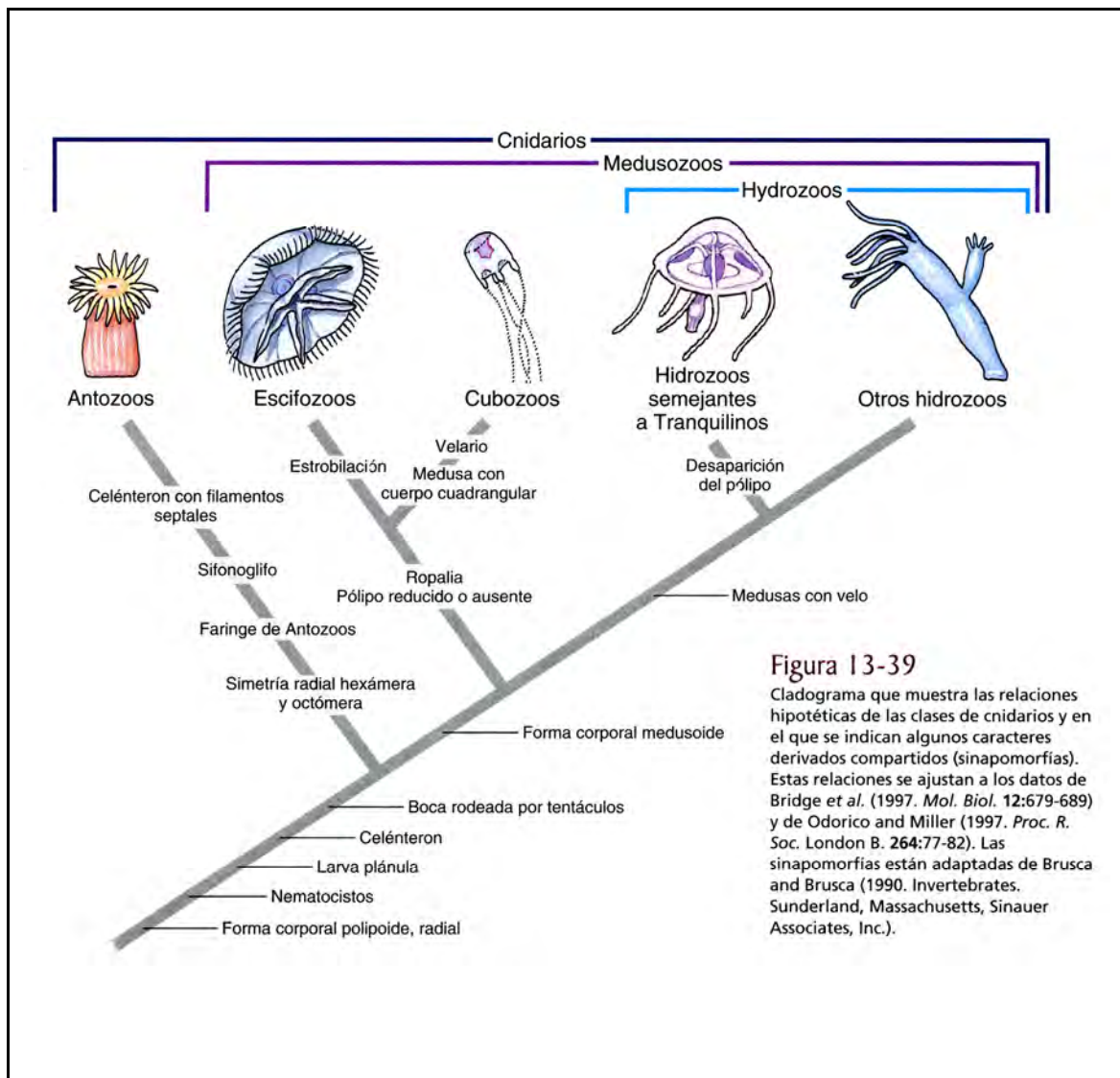


Figura 13-39
 Cladograma que muestra las relaciones hipotéticas de las clases de cnidarios y en el que se indican algunos caracteres derivados compartidos (sinapomorfias). Estas relaciones se ajustan a los datos de Bridge *et al.* (1997. *Mol. Biol.* 12:679-689) y de Odorico and Miller (1997. *Proc. R. Soc. London B.* 264:77-82). Las sinapomorfias están adaptadas de Brusca and Brusca (1990. *Invertebrates*. Sunderland, Massachusetts, Sinauer Associates, Inc.).

Figura 122: Cladograma (Tomado de Hickman *et al.*, 2006).

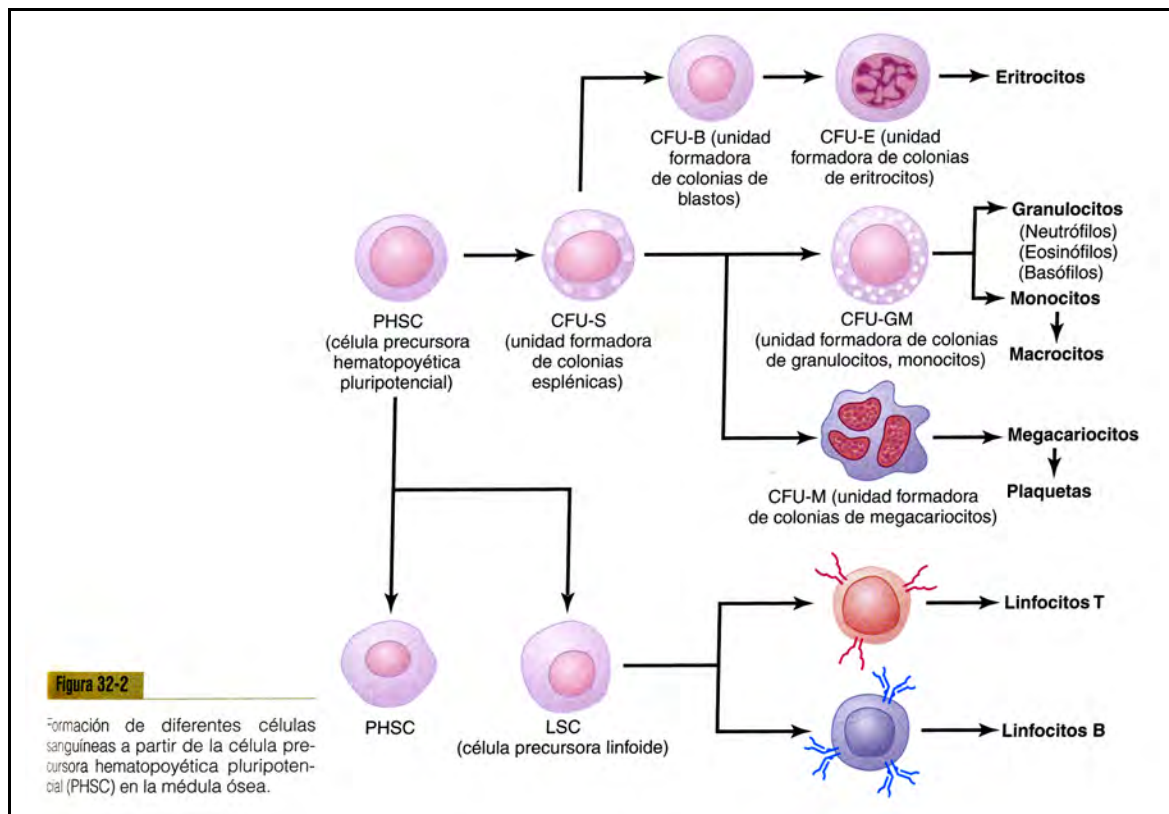


Figura 123: Representación del origen de células sanguíneas mediante un diagrama de árbol (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

MORFOLOGÍA DEL MODELO

Definición

Aspecto o parecer exterior de alguien o algo. Éste depende de la composición química y estado físico de los materiales que lo forman, de su estructura interna, etc.

Recursos empleados

Los principales aspectos de la apariencia representados fueron los siguientes: forma volumétrica del modelo, color, textura, tamaño, posición en el espacio y orientación en el espacio. Es importante distinguir estos aspectos relativos a la apariencia del objeto real con las cualidades de las formas planas con que se representan estos en la ilustración, ya que ambos suelen denominarse de forma

similar (ver Tabla 2 en página 208). Las posibles variaciones de estas últimas constituyen los principales recursos empleados por el ilustrador para traducir la apariencia real del objeto al espacio plano.

Dado que la apariencia de un objeto puede ser reproducida en una ilustración con un alto grado de fidelidad o, por el contrario, traducirse en una imagen profundamente esquemática, en este apartado se analizaron por separado los recursos empleados para uno y otro fin. Dado que este concepto está presente en todas las imágenes de la muestra considerada (3994 figuras) y que el número de factores de los que depende la apariencia realista o esquemática de una ilustración es elevado, resultó imposible analizar estadísticamente las combinaciones de recursos involucrados en su representación. Este análisis es aún más complejo, teniendo en cuenta que no se pueden establecer categorías estancas en relación al grado de realismo-esquematismo sino que las posibles combinaciones se distribuyen en un continuo de difícil catalogación. Por este motivo, se ha considerado más práctico describir los recursos que caracterizan la apariencia realista y cómo estos suelen estar ausentes, al menos en parte, en las imágenes esquemáticas. Además, se describen otros recursos específicos de las imágenes esquemáticas, tales como los destinados a ampliar una parte del modelo para verla en detalle o los que tienen como finalidad mostrar su estructura interna.

Recursos para generar una apariencia realista

Hay resaltar que en contra de lo que pudiera esperarse, únicamente una minoría de imágenes analizadas pudieron catalogarse como realistas. Por otra parte, se comprobó que las imágenes que reproducían el modelo con un alto grado de realismo empleaban una serie de estrategias comunes. En primer lugar, la figura

dibujada en la ilustración seguía bastante fielmente en todos los casos a la del modelo real. En segundo lugar, el color de relleno estaba reproducido mediante tono continuo (degradado de color), respetando las transiciones suaves entre tonos próximos, como las que se producen al incidir oblicuamente la luz sobre una superficie curva y reproduciendo con exactitud el aspecto volumétrico del modelo. Por otro lado, en todas las imágenes de carácter realista también estaba debidamente representada la textura material del modelo, es decir, aquella que depende de la composición química y organización estructural del material o materiales que lo forman. Se identificó un trazo de contorno en la mayoría de los casos, aunque el realismo fue más acusado en los casos en que estaba ausente o en los que esta línea era fina y modulada. En ausencia de color de relleno de tono continuo, la presencia de textura modeladora (aquella orientada a reproducir los cambios de tono del modelo) demostró otorgar un mayor realismo a la imagen. La reproducción del modelo fue también más fiel en aquellos casos en los que se representó éste a todo color, aunque la utilización de un solo color (monocromía) no afectó gravemente al realismo de la imagen (Figura 124).

En cuanto al tamaño de las formas representadas, la conservación de la proporción natural de esta dimensión de unos objetos respecto a otros aumentó su verosimilitud (Figura 125). La orientación natural de los objetos representados tuvo una influencia mucho menor sobre el realismo de las imágenes.

Uno de los aspectos que más realismo aportó a las ilustración fue la adecuada distribución del color y el uso de degradados de color con el fin de sugerir un efecto de iluminación. La fuente de luz simulada tuvo en casi todas las ilustraciones unas características comunes, estando orientada de arriba hacia abajo, frontal al modelo y con mayor frecuencia de izquierda a derecha que de derecha a izquierda. No se han

encontrado ejemplos de iluminación basados en fuentes orientadas desde abajo hacia arriba ni a contraluz.

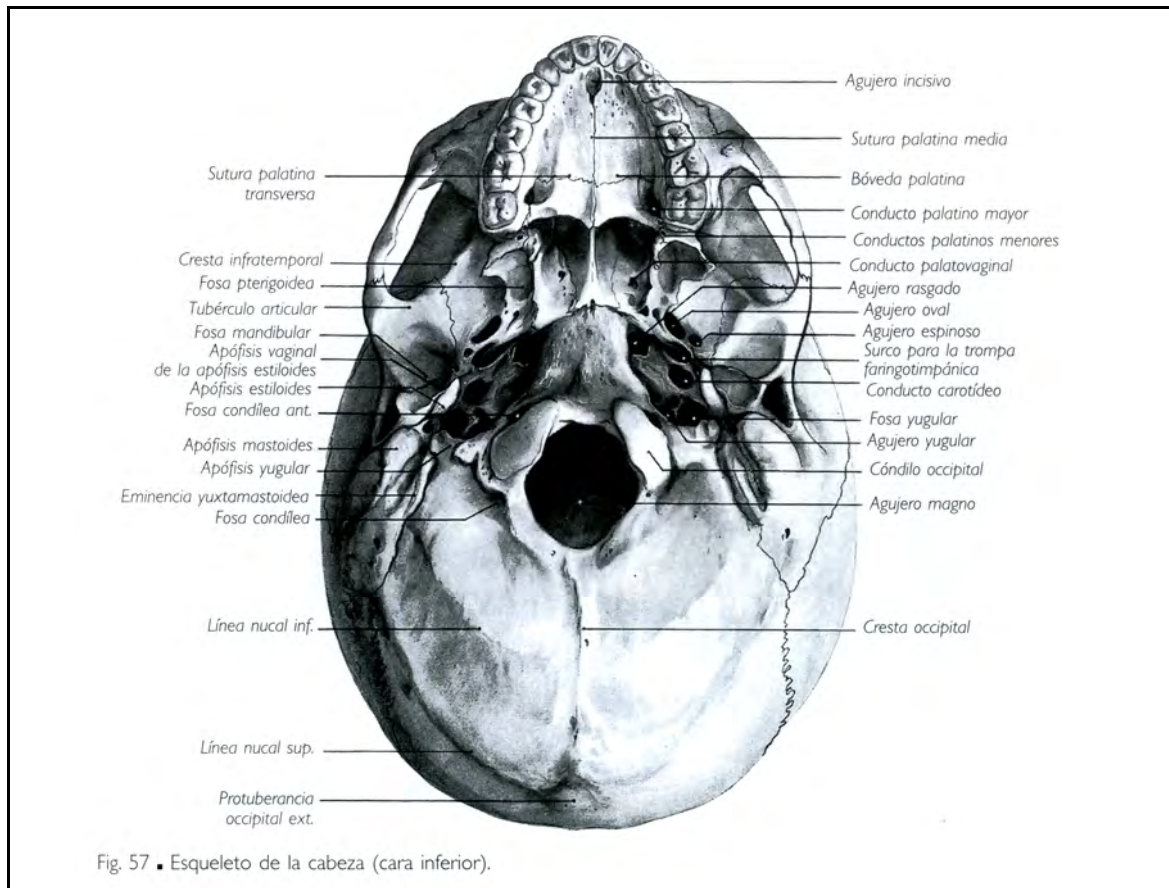


Figura 124: Representación realista (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

Algunos aspectos de la apariencia de un modelo pueden tener una dificultad añadida para su representación, como es el caso de la transparencia de alguno de sus materiales constituyentes o de la reflectancia (grado de reflexión) de las superficies de metales, vidrios o líquidos.

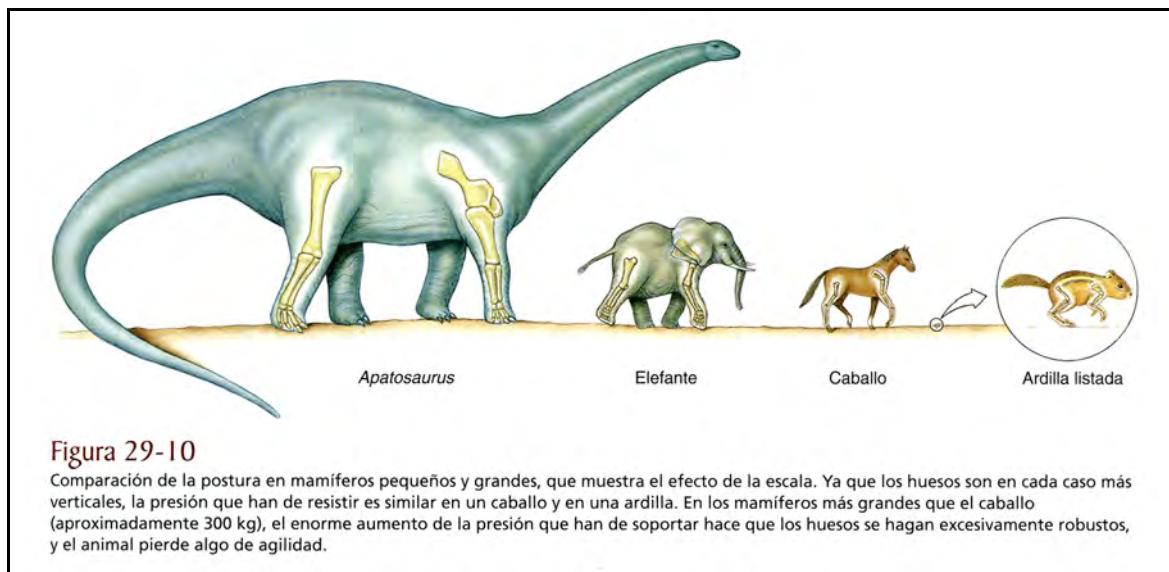


Figura 125: Representación a escala de distintos modelos conservando la proporción real entre ellos (Tomado de Hickman et al., 2006).

En cuanto a la transparencia del material, se han identificado diferentes recursos empleados con esa finalidad. El observado con más frecuencia en las imágenes realistas analizadas fue el basado en cambio del color de relleno cuando una forma se superponía a otra. En estos casos, el color de relleno del área solapada se obtuvo por mezcla substractiva de los colores de relleno de las formas superpuestas, con mayor proporción del color del objeto situado delante cuanto mayor grado de opacidad poseía éste. En cuanto a la representación de materiales de alta reflectancia, normalmente se logró mediante la utilización de colores de alto contraste tonal situados muy próximos unos a otros y gracias a la inclusión de reflejos (repetición distorsionada de elementos presentes en la escena).

Recursos para generar una apariencia esquemática

Simplificación

Los recursos de esquematización encontrados en la muestra analizada estaban basados en buena parte en la eliminación o simplificación de alguno de los recursos comentados a propósito de la reproducción realista. En primer lugar, la figura de las formas trazadas normalmente seguía con escasa fidelidad las formas del modelo representado. Éste demostró ser uno de los métodos más poderosos de esquematización puesto que ninguna imagen con figura esquematizada poseía un aspecto realista (Figura 126).

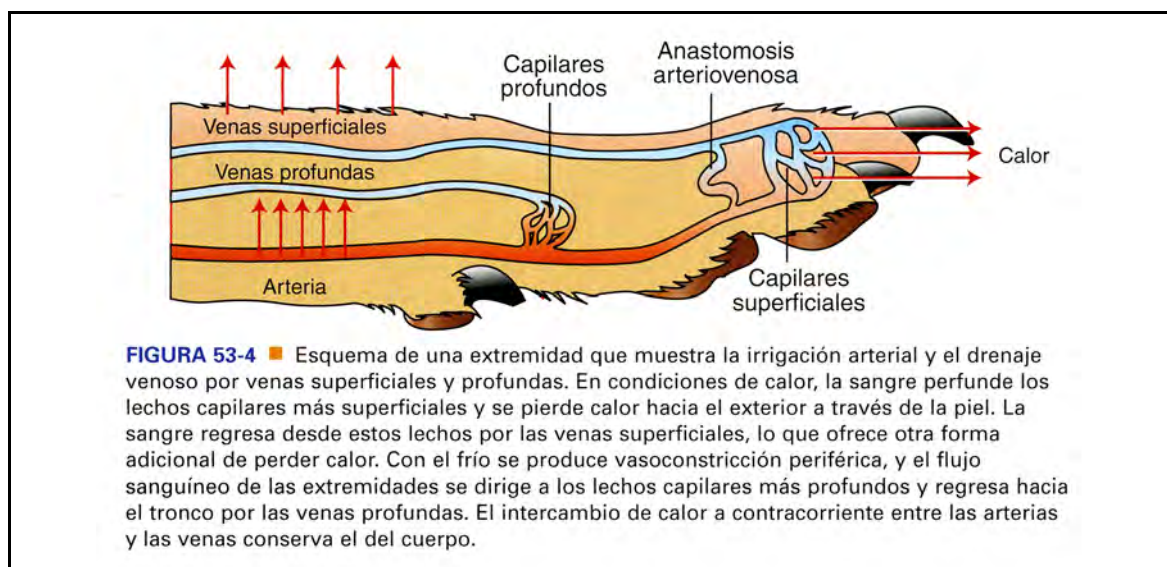


Figura 126: Representación esquemática (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

En algunos casos en que la figura del modelo poseía algún tipo de simetría se prescindió incluso de representar una de las mitades (Figura 127), indicándolo en ocasiones mediante un eje dibujado con línea fina de trazo y punto.

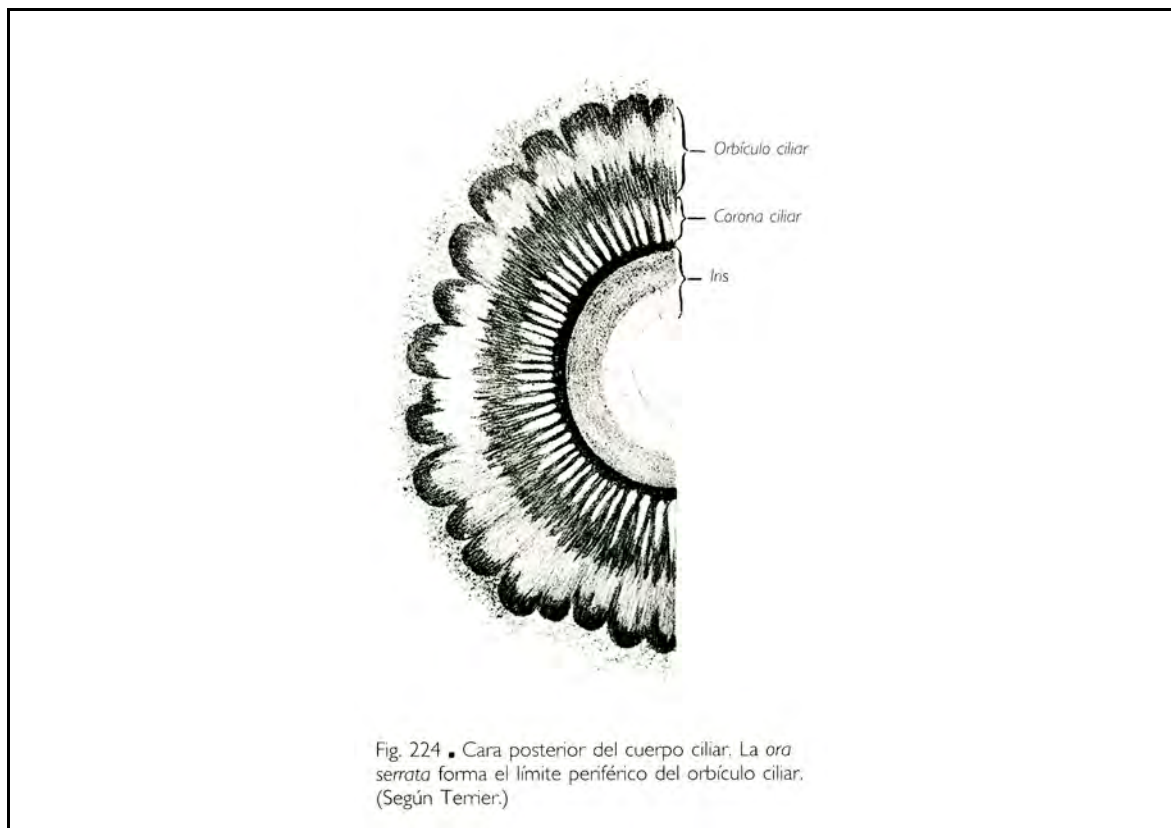


Figura 127: Representación anatómica de un elemento simétrico omitiendo una de sus mitades (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

Por otra parte, numerosas imágenes esquemáticas carecieron de relleno de color degradado, siendo éste de color plano o estando directamente ausente (color de relleno igual al color del fondo). Esto eliminó al menos en parte la sensación de volumen representado. En ausencia de degradados de color para modelar el volumen ilusorio de la representación, éste se sugirió generalmente mediante textura modeladora o mediante superposición de los elementos participantes. El traslape de la línea de contorno también creó la ilusión de tridimensionalidad con suficiente efectividad.

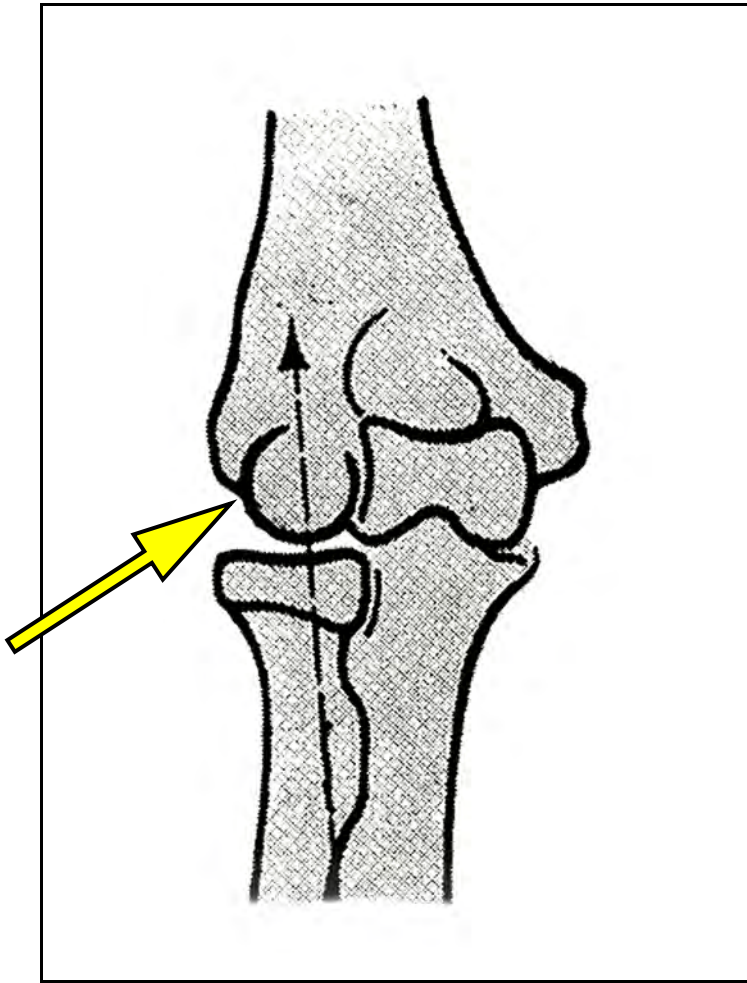


Figura 128: Representación de volumen mediante traslapo. Cuando una estructura está parcialmente unida a otra, esta circunstancia suele sugerirse mediante la interrupción del trazo en la zona de contacto (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

La reproducción monocromática otorgó igualmente un carácter más sintético a las imágenes que la policromática. Otro potente recurso de esquematización consistió en la eliminación de la textura material. En buena parte de las imágenes, la sustitución del color de tono continuo por una textura modeladora también sirvió para simplificar la representación del modelo. La presencia de textura decorativa se observó en un menor número de imágenes y produjo una intensa sensación de esquematismo. La representación mediante trazo de contorno fue casi constante en las imágenes de

carácter esquemático, resultando más efectiva la utilización de un trazo grueso y homogéneo para este fin. La modificación de las características del trazo fue especialmente útil en el dibujo esquemático de estructuras con cierto grado de transparencia, representándose habitualmente con trazo discontinuo o incluso sin trazo las formas cubiertas por el material translúcido.

Un tipo específico de referente que es reproducido habitualmente de forma esquemática es la estructura de una molécula. Existen numerosos modelos de representación de compuestos químicos, algunos de los cuales son normalizados según los criterios establecidos por organizaciones científicas como la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Por otra parte existen múltiples programas informáticos sofisticados que están especializados en la representación de estructuras moleculares. No obstante, este asunto sobrepasa los objetivos de la presente tesis, por lo que se ha optado por no analizar específicamente este tipo de ilustraciones.

Escala y acotación

La escala apareció representada en múltiples imágenes para indicar la relación de tamaño de la representación con el modelo real. Igualmente, en algunas de ellas se indicó el tamaño de las diferentes partes del objeto representado fundamentalmente mediante líneas de cota. Ambos recursos suponen un cierto grado de esquematización al mostrar de una forma artificial algunas de las características del modelo. Pese a que existen en dibujo técnico una serie de normas establecidas (normas ISO) para representar la escala y acotar una representación, en muchas de las ilustraciones analizadas no se tuvieron en cuenta.

Alteración de la proporción de tamaño

En cuanto al tamaño de las formas del modelo, la modificación en la ilustración de la proporción natural de esta dimensión de unos objetos respecto a otros sí alteró profundamente su verosimilitud, indicando claramente un carácter esquemático. Este recurso se encontró con frecuencia en diagramas en los que se relacionaban modelos de tamaño tan diferente que haría imposible su representación conjunta (Figura 129).

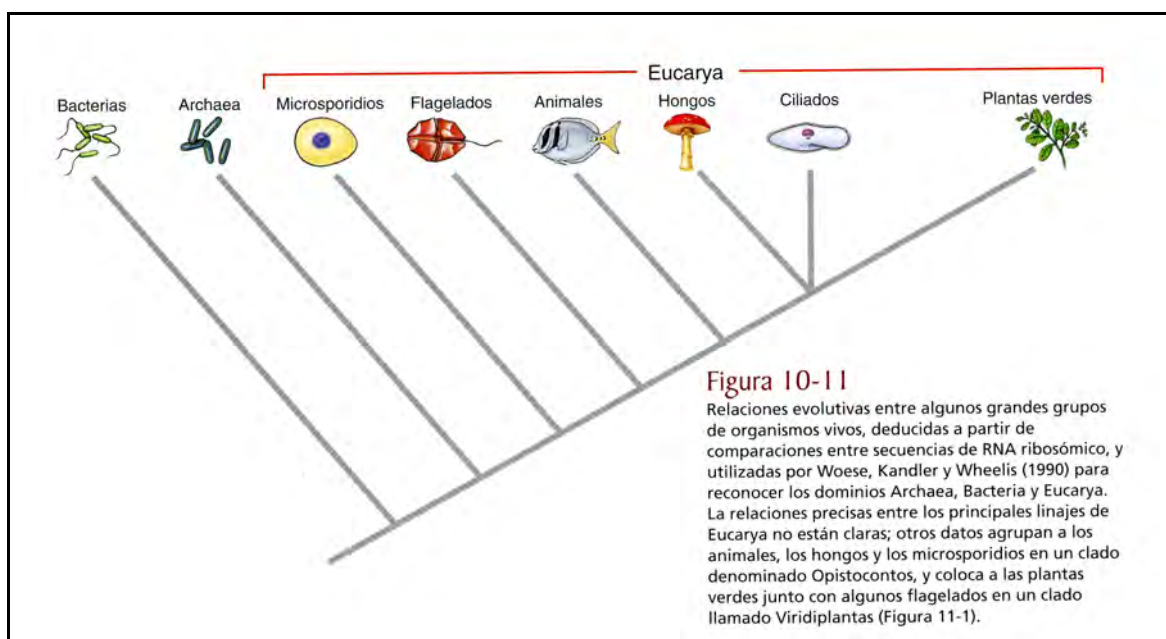


Figura 129: Representación esquemática alterando la proporción de los modelos e igualando sus tamaños para facilitar su valoración conjunta (Tomado de Hickman et al., 2006).

En ocasiones la alteración de tamaño afectó a la proporción entre diferentes partes del modelo representado.

Vista ampliada vs global

Consiste en la ampliación de una parte del objeto representado para mostrar en detalle su morfología. Este efecto puede utilizarse tanto para representaciones

realistas como esquemáticas. No obstante, representar un objeto con dos tamaños y encuadres diferentes a la vez otorga un carácter artificial a la imagen que podría considerarse como un intento de esquematización de la realidad.

Este recurso se empleó tanto para ampliar una zona de la ilustración como a la inversa, para mostrar la vista global del modelo. A veces también se vieron ampliaciones en cadena, que aumentaban de forma sucesiva diferentes partes del elemento representado.

Se han encontrado más de 40 combinaciones diferentes de recursos utilizadas para sugerir la vista en detalle o aumentada de un área concreta del modelo (Figura 130).

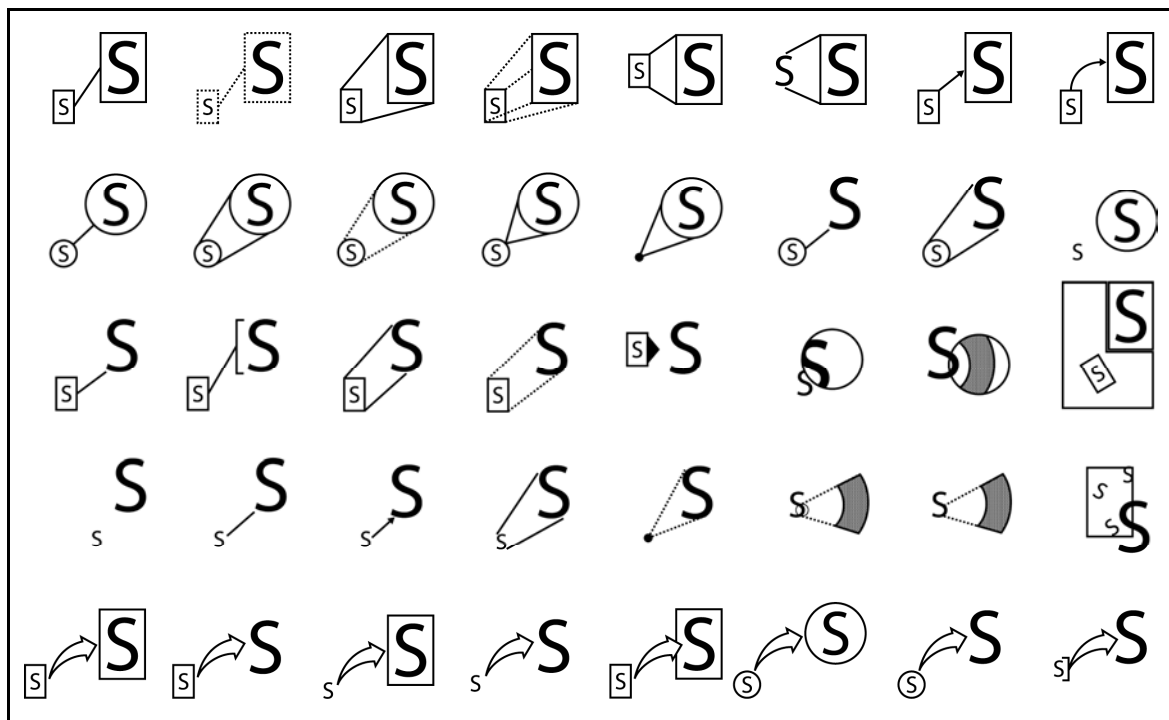


Figura 130: Principales variantes encontradas para la representación de vista ampliada.

La mayoría de las combinaciones encontradas para indicar una vista en detalle estaban compuestas por líneas o flechas que servían de enlace entre la zona a ampliar y la zona ampliada (81%). En la mayor parte de los casos (67%), se utilizaban uno o dos marcos de referencia para delimitar cada una de las citadas regiones y relacionarlas visualmente. De los elementos de enlace, los más abundantes fueron las flechas (57%), habiéndose identificado fundamentalmente dos modalidades de ellas. El tipo más frecuente de flecha (69%) mostraba un incremento del grosor de su figura desde el origen hacia la terminación o punta y en muchas ocasiones poseía una curvatura progresivamente más acusada en el mismo sentido (Figura 131).

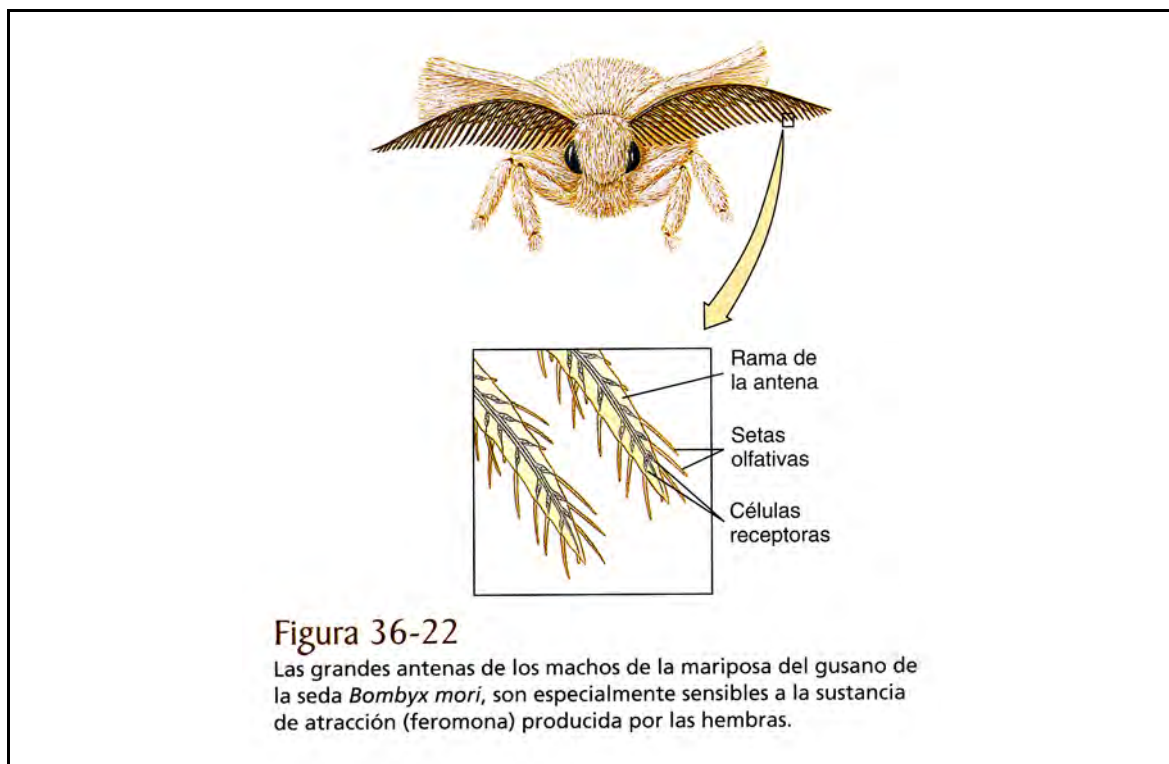


Figura 131: Vista en detalle especificada mediante dos marcos unidos por una flecha de grosor creciente (Tomado de Hickman et al., 2006).

El segundo tipo de flecha encontrado (31%) fue de tipo sencillo, compuesto por una línea recta de grosor uniforme y una punta de flecha triangular. En algunos casos esta última también aparecía curvada.

En los casos en los que se utilizaron líneas en lugar de flechas para enlazar las dos zonas relacionadas (43%), lo más habitual es que éstas fueran dobles (84%), uniendo generalmente los extremos de ambos marcos (el del área a ampliar y el de la ampliada). Las líneas dobles también se han utilizado para unir los extremos del marco que rodea la zona que se va a ampliar con los del área en detalle (sin marco), o incluso los extremos del área a aumentar y el área aumentada (ambas sin marco). Las líneas únicas se utilizaron en mucha menor medida como elementos de relación (16%). Tanto en el caso de las líneas como el de las flechas hubo un claro predominio en el uso de línea de trazo continua (81%) frente a la discontinua (19%). En cuanto a los marcos, la figura más observada fue la rectangular (77%), seguida por la circular (22%). Otras variantes de marco fueron muy escasas (1%), como por ejemplo el marco en forma de sector circular.

Recursos para mostrar la estructura interna del modelo

Se trata de una serie de recursos cuyo objetivo común es mostrar la disposición y morfología de las estructuras internas del modelo. Dado que éstas no pueden contemplarse de forma directa desde el exterior salvo en los casos en que sus elementos superficiales sean transparentes, es muy frecuente en ilustración científica la utilización de diferentes estrategias orientadas a mostrar de forma virtual las partes ocultas. En este apartado se describen las principales técnicas empleadas para este fin, entre las cuales se encuentran la sección, la transparencia y el abatimiento.

a) Sección

Es aquel dibujo del perfil o figura que resultaría si se cortara un terreno, edificio, máquina, etc., por un plano, con objeto de dar a conocer su estructura o su disposición interior. Son muy abundantes las ilustraciones científicas en las que se muestra la estructura interna de un espécimen mediante la representación de un corte real o virtual a través de alguna zona del mismo.

En la mayor parte (63%) de las imágenes analizadas en las que se representaba una sección del modelo, la alusión al tipo de corte mostrado era vaga o ni siquiera existía. En estos casos, la sección era reconocida por la figura característica del elemento representado (si este era familiar), o por comparación con un dibujo del modelo en perspectiva situado junto a él. En otras ocasiones, la interrupción brusca de una forma representada en tres dimensiones, mostrando un o varias facetas planas, era la que daba la clave de que lo que se mostraba era una sección (Figura 132 y Figura 133).

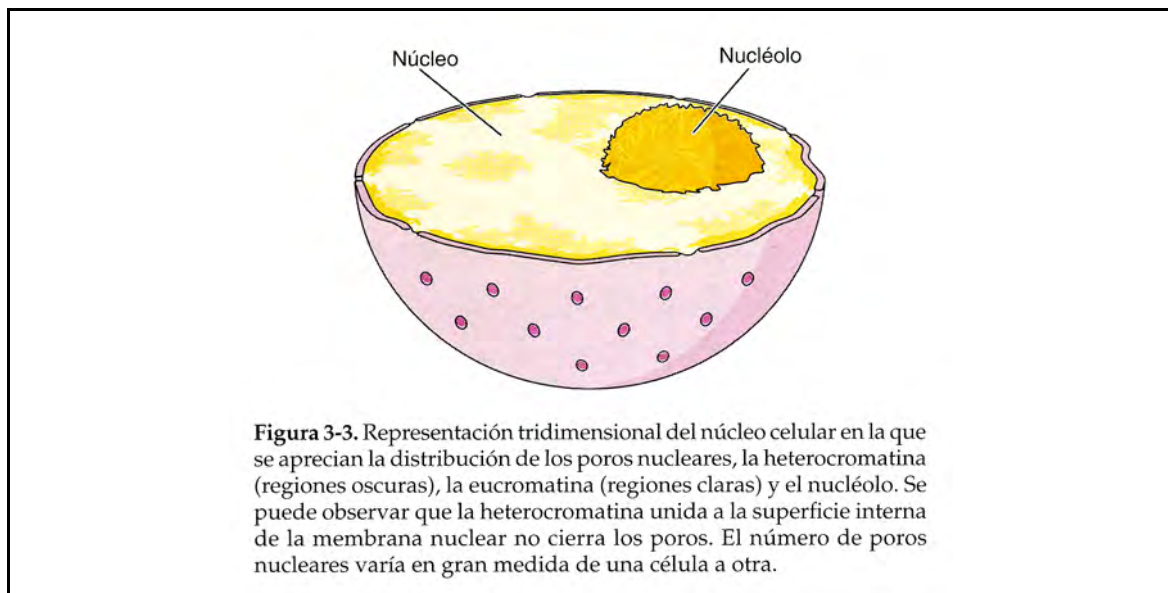


Figura 132: Ilustración en la que se ha omitido cualquier alusión a la sección representada (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

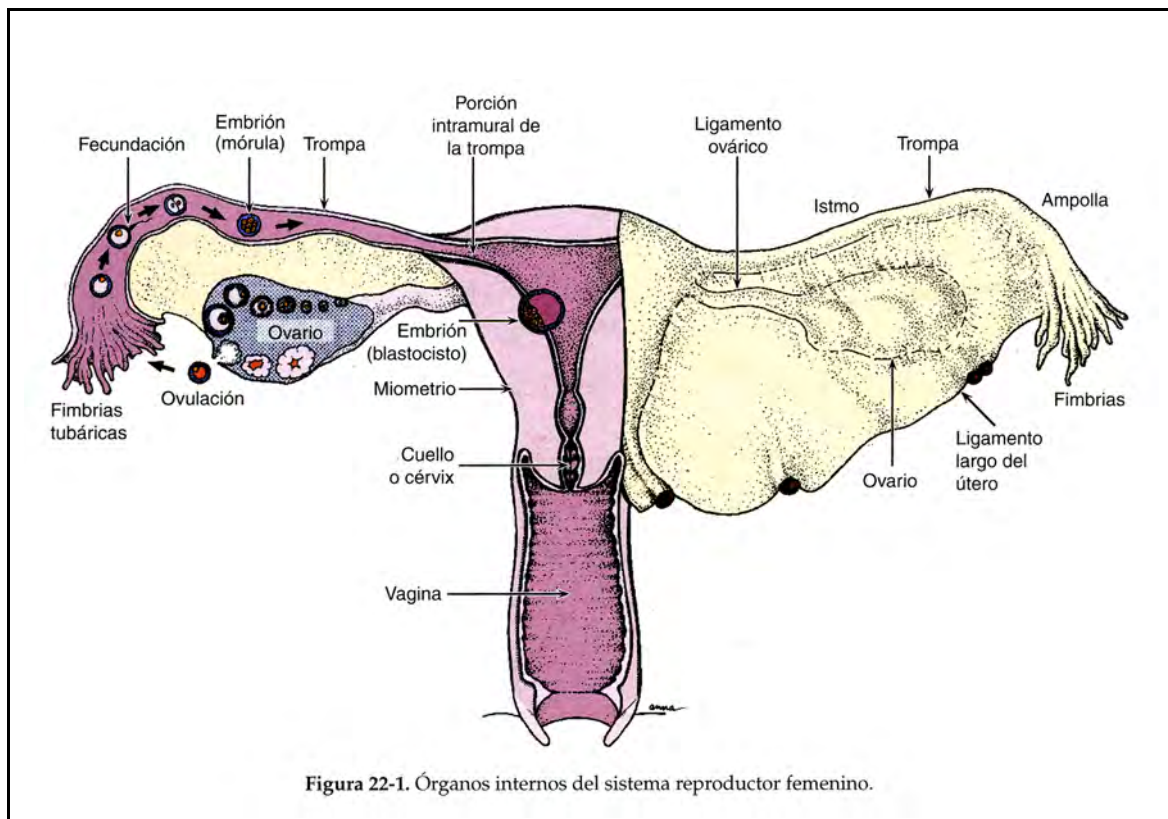


Figura 22-1. Órganos internos del sistema reproductor femenino.

Figura 133: Ilustración en la que se ha seccionado mediante un plano frontal una parte del modelo, conservando la otra mitad. No se hace ninguna referencia al corte efectuado. Éste se deduce comparando ambas partes. (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

Con menor frecuencia (26%), el tipo de corte era descrito en el pie de la figura (p.ej.: sección transversal del músculo bíceps braquial, sección de una gémula de esponja de agua dulce, etc.) (Figura 134). No obstante, la descripción del corte aparecía de forma esporádica en un rótulo junto a la imagen del mismo (1%).

En algunos casos (7%) la zona de incisión se indicó por medio de un plano oblicuo a la imagen (Figura 135). En estos casos fue más frecuente la relación del plano de corte con la imagen de la sección mediante una flecha o línea que servía de enlace. Éste fue uno de los sistemas más claros de descripción del corte representado, aunque lamentablemente fue empleado en pocas ocasiones.

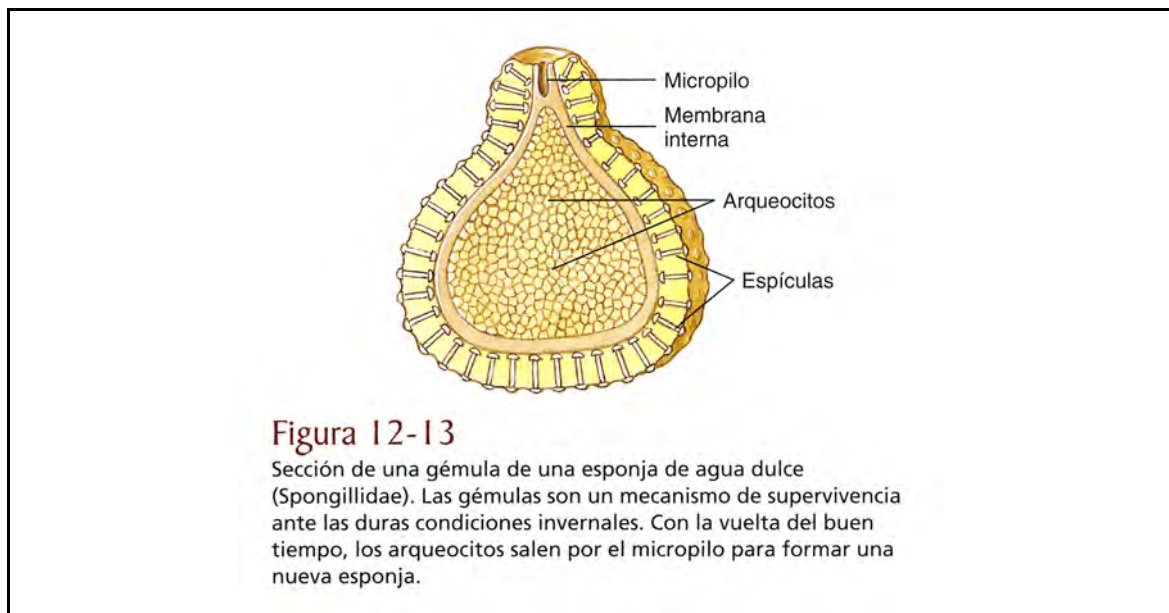


Figura 134: Representación de una sección indicada únicamente en el pie de la figura (Tomado de Hickman et al., 2006).

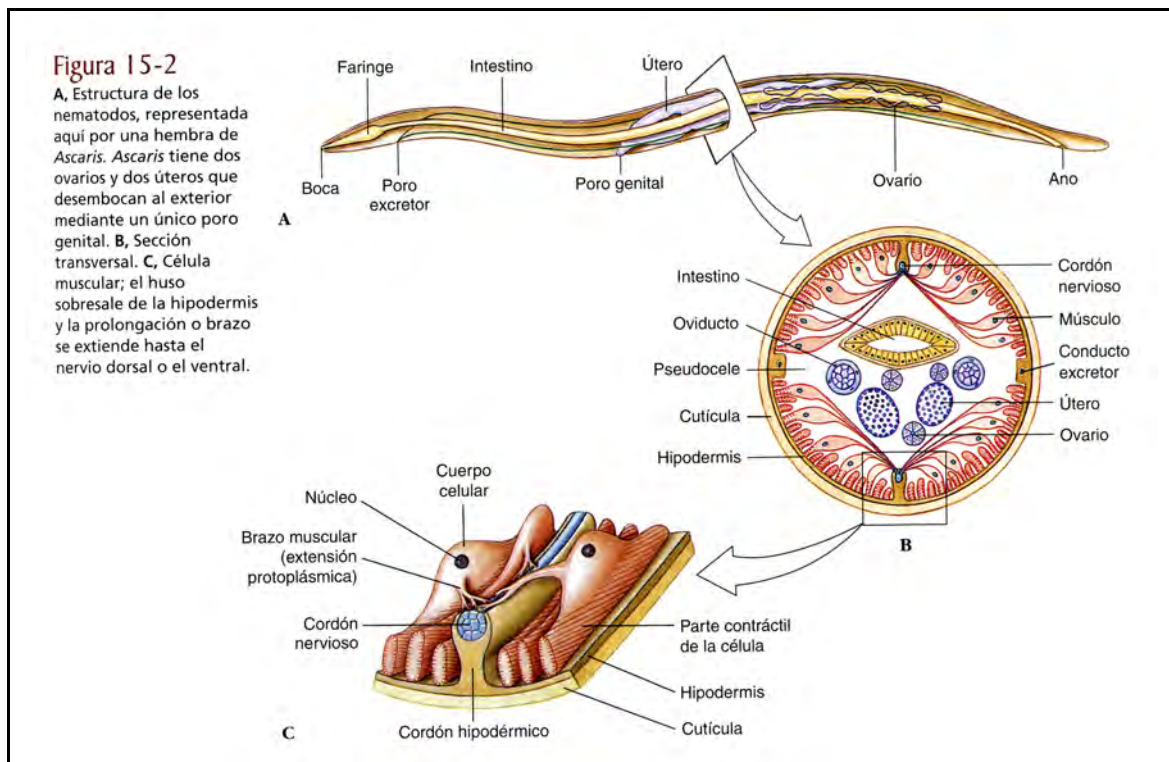


Figura 135: Representación del plano de corte y de la sección en detalle. Sobre esta última se realiza una nueva sección indicada por un marco que también se muestra en vista ampliada (Tomado de Hickman et al., 2006).

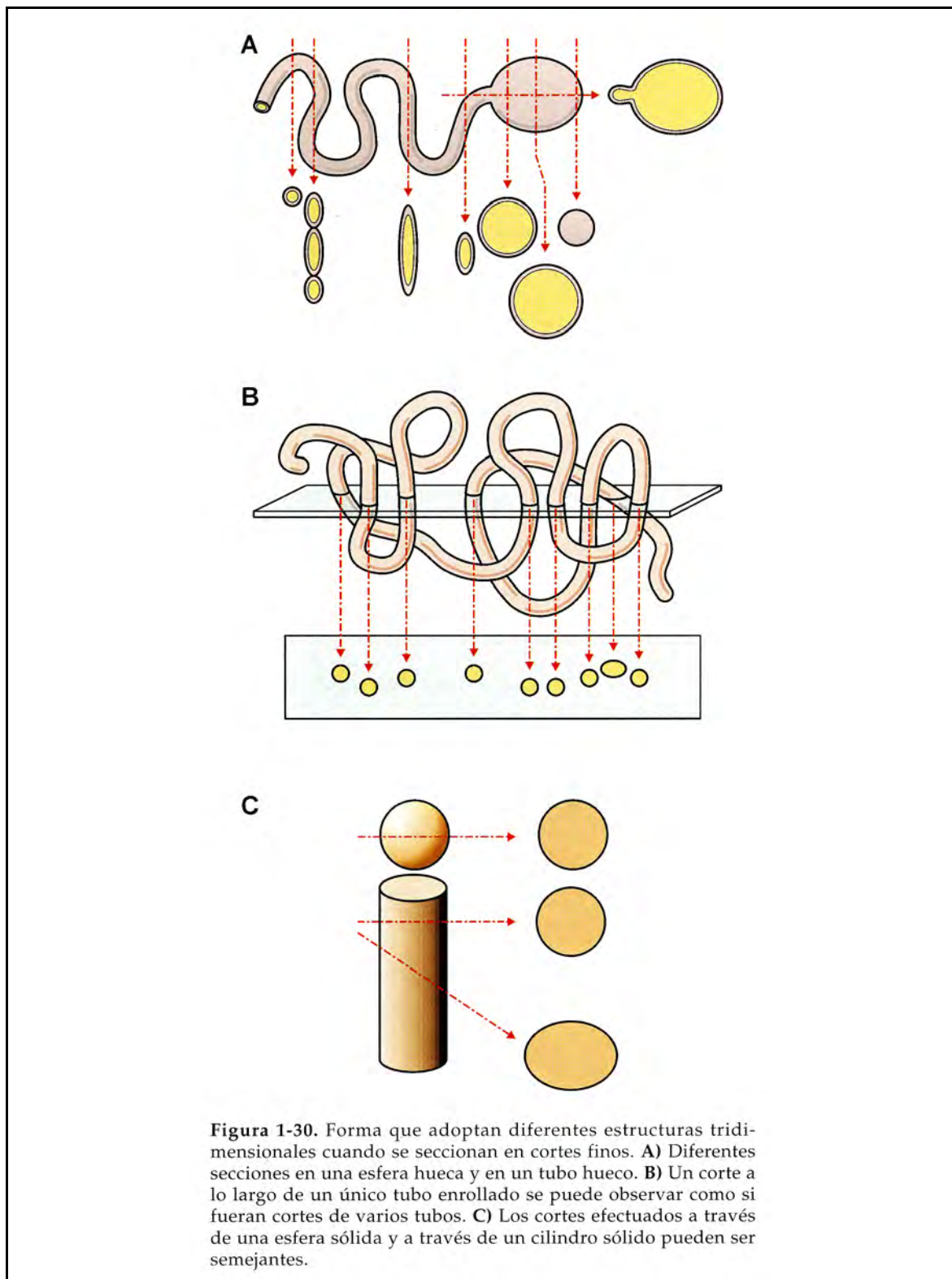


Figura 136: Planos de corte indicados por líneas de trazo y punto con terminación en punta de flecha señalando la representación de la sección correspondiente(A y C). Plano de corte en perspectiva y visto desde arriba mostrando la correspondencia entre las áreas seccionadas del modelo (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

La sección de una estructura se indicó en una minoría de las ilustraciones analizadas (1%) con una línea fina de trazo y punto que cruzaba la representación del modelo por el área de corte. Éste es el tipo de grafismo empleado habitualmente en dibujo técnico y también en ilustración científica tradicional, en el que la línea es la representación de un plano perpendicular al de la imagen que atravesaba el objeto seccionado. Generalmente se relacionó mediante algún tipo de referencia, a menudo cifras o letras, dicha línea de corte con la imagen del modelo seccionado. En algún caso aislado la línea terminaba en una punta de flecha que señalaba a la representación de la sección (Figura 136).

b) Transparencia

Esta ha sido una de las técnicas encontradas con más frecuencia para la representación de la estructura interna del modelo. En este caso, la transparencia de una parte del objeto representado no es real sino que es sugerida para mostrar virtualmente la apariencia de un elemento oculto. Dependiendo de la intención del ilustrador, la representación de la apariencia tuvo un aspecto más o menos esquemático. El aspecto más realista se representó fundamentalmente mediante cambios de color, tal como si la estructura situada por delante se comportara realmente como un cuerpo realmente translúcido. Así, el área en el que ambas estructuras se superponían se representó mediante la mezcla substractiva de los colores de relleno de las mismas, predominando uno u otro en virtud de la opacidad del elemento situado delante.

En las representaciones más esquemáticas el recurso más empleado para representar los contornos de aquellas estructuras que se encontraban ocultas fue el trazo discontinuo, aplicado de forma similar a como se realiza en dibujo técnico (Figura 137). No obstante, también se recurrió con relativa frecuencia en ilustraciones de este

tipo a la combinación de los colores de las estructuras superpuestas para crear efectos de transparencia (Figura 137). Otros métodos empleados consistieron en la desaparición de la línea de contorno o del color de relleno de los elementos ocultos.

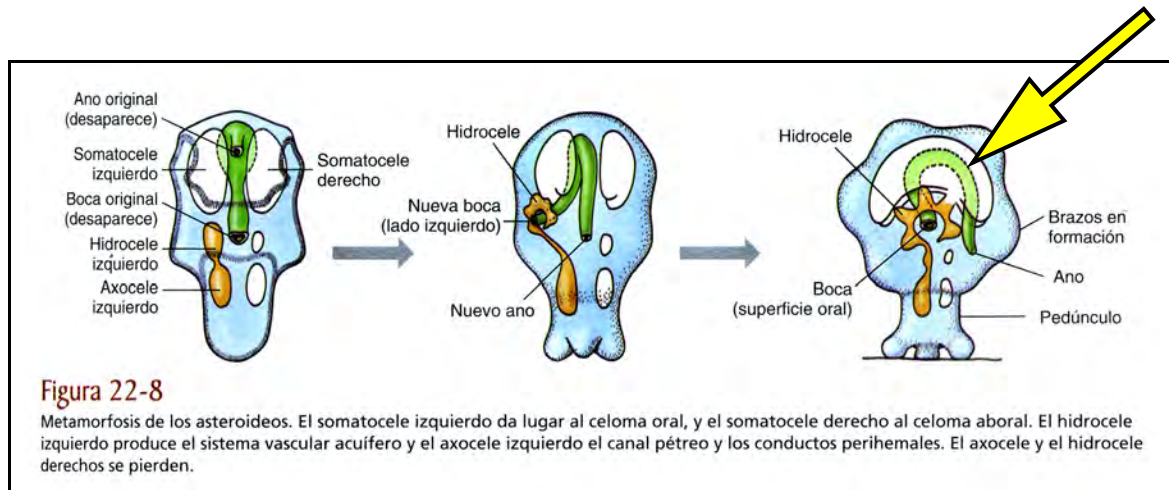


Figura 137: Efecto de transparencia creado mediante mezcla sustractiva de los colores de los elementos superpuestos y trazado del contorno oculto en línea discontinua (Tomado de Hickman et al., 2006).

c) Movilización de estructuras

Consiste en su desplazamiento de una estructura desde el lugar que ocupa habitualmente hasta otro que permite contemplar un elemento oculto por ésta.

Este método ha sido identificado en un menor número de imágenes que la sección y se ha encontrado sobre todo en los tratados de anatomía y embriología, donde se describen morfológicamente estructuras de compleja disposición espacial. Se han identificado dos técnicas diferentes para movilizar estructuras: el abatimiento y la tracción. El abatimiento requiere la sección o desmontaje de al menos uno de sus puntos de anclaje, mientras que la tracción simplemente deforma un elemento flexible para mostrar lo que está detrás de él. En la muestra estudiada, para recrear la sensación de abatimiento de una estructura generalmente se dibujó en una posición diferente a la habitual y plegada o deformada por efecto de una fuerza aparentemente

aplicada desde el extremo seccionado o desmontado. En ocasiones se dibujó un gancho que supuestamente tiraba de la parte desprendida para realizar el abatimiento (Figura 138). Otras veces este gancho fue sustituido por una flecha señalando la dirección y sentido hacia la que se está desplazando. La tracción se utilizó sobre todo para realizar pequeños o moderados desplazamientos de estructuras musculares, vasculares o nerviosas (Figura 138).

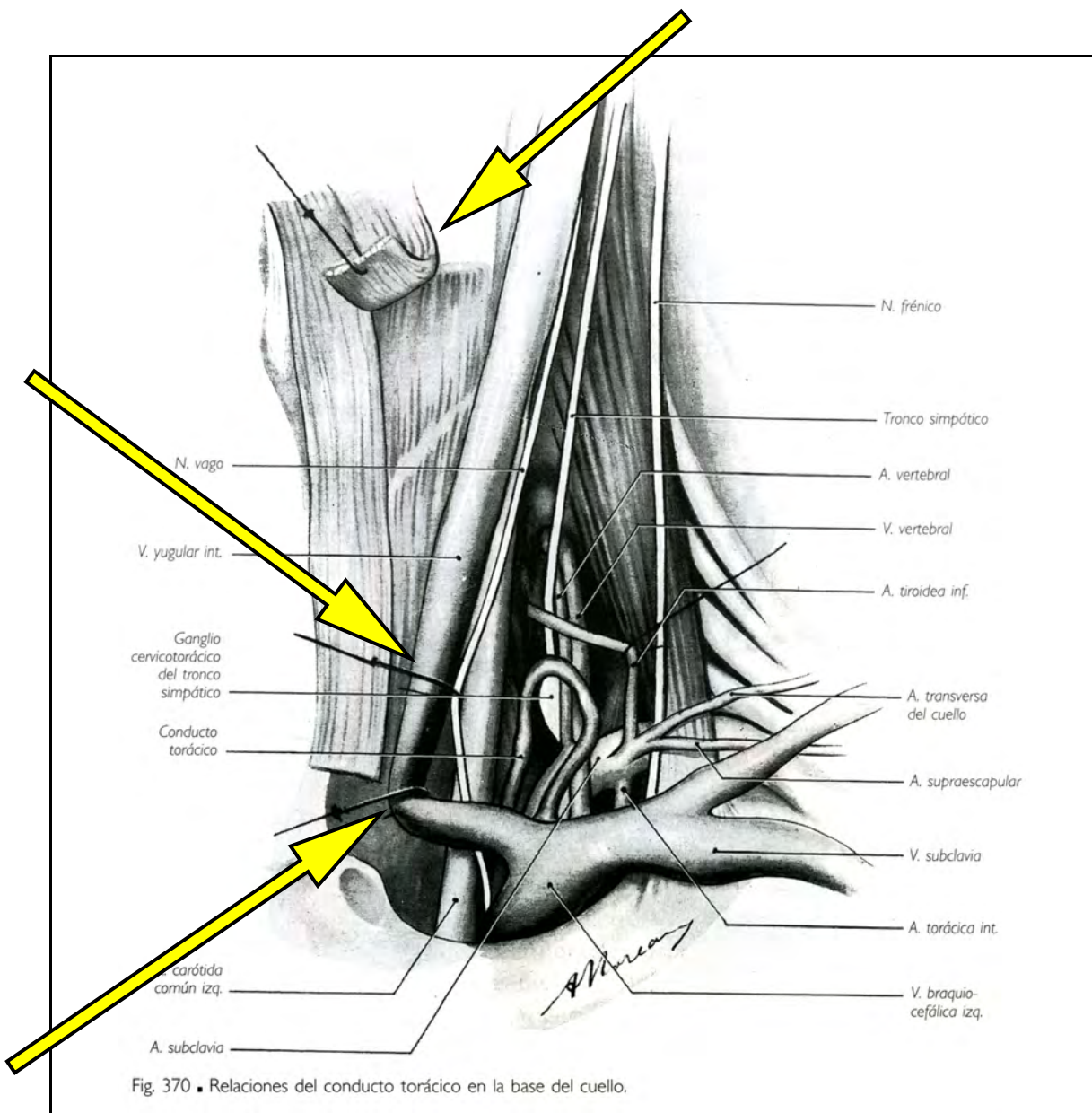


Figura 138: Abatimiento de un músculo seccionado en uno de sus extremos y desplazamiento mediante tracción de un nervio y una vena. En ambos casos se usan ganchos para indicar que su posición ha sido modificada mediante manipulación (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

d) Flechas en cavidades

En algunas imágenes se observó el uso de flechas para la descripción de espacios complejos. En ellos, la flecha recorría virtualmente cavidades semiocultas, desapareciendo detrás de estructuras que las tapaban parcialmente e introduciéndose por los orificios que comunicaban unos espacios con otros (Figura 139).

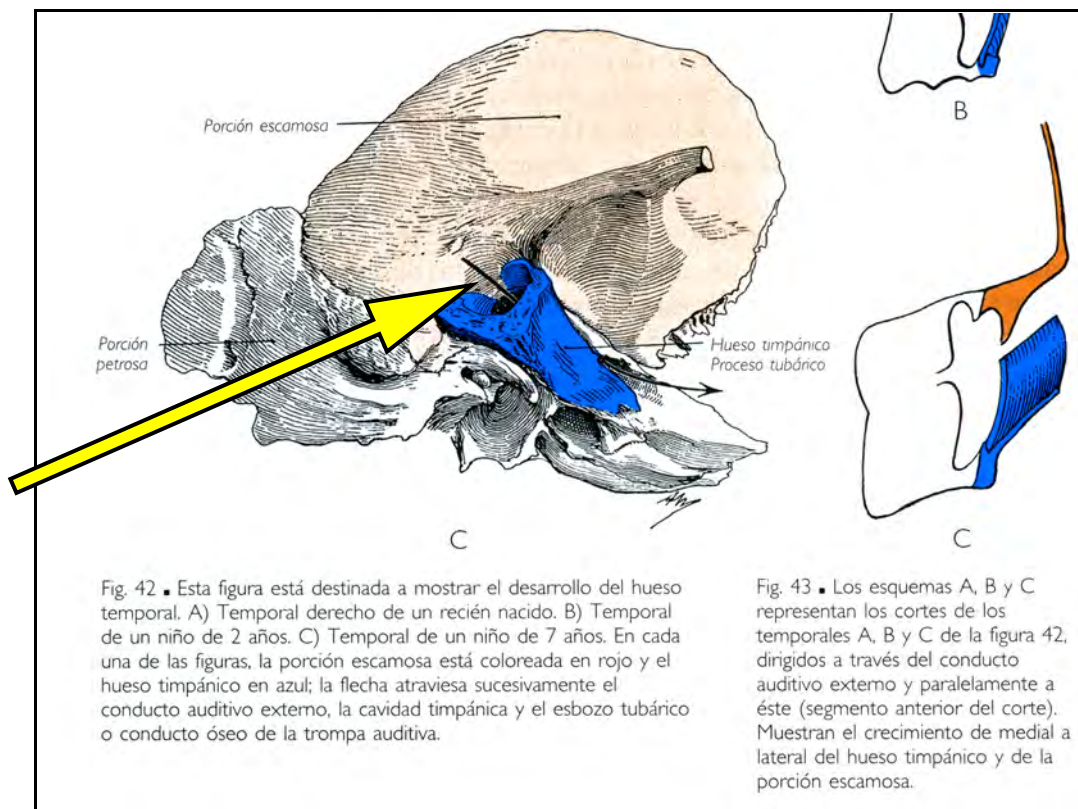


Figura 139: Utilización de una flecha para poner de manifiesto la existencia de una cavidad oculta por una estructura ósea (Fragmento tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

MOVIMIENTO

Definición

Cambio de lugar de un cuerpo en el espacio.

Recursos empleados

Para este estudio se han considerado distintas modalidades de movimiento, debido a que su representación gráfica muestra diferencias significativas. Se ha distinguido así entre desplazamiento de un cuerpo, flujo, giro y traspaso. En primer lugar, hablamos de **desplazamiento** de un cuerpo cuando varía su posición en el espacio, se modifique o no su orientación. El **giro**, sin embargo, supone un cambio de orientación, haya o no un cambio de posición. Reservamos el término **flujo** para el movimiento de fluidos o partículas múltiples. Finalmente, el concepto traspaso se refiere al paso de un elemento o sustancia a través de una barrera, ya sea por un paso abierto, por difusión, rotura, etc. El término **traspaso** engloba conceptos como secreción, absorción, penetración, expulsión, etc., debido a que sus respectivas representaciones gráficas tienen más características en común que diferenciadoras.

Desplazamiento

Se han identificado en los tratados analizados un total de 11 combinaciones de recursos gráficos destinadas a representar el desplazamiento de elementos (Figura 140). Prácticamente la totalidad se han simbolizado mediante el uso de flechas (95%). En la mayor parte de los casos, éstas se han combinado con la repetición del elemento desplazado en la posición de destino. De todas ellas, la representación del elemento tanto en la posición inicial como en la final y unidas por una flecha sencilla (Figura 141) ha predominado de forma muy clara sobre las demás (64%). También ha destacado el uso de flechas con línea de trazo continua (72%) sobre la discontinua (28%).

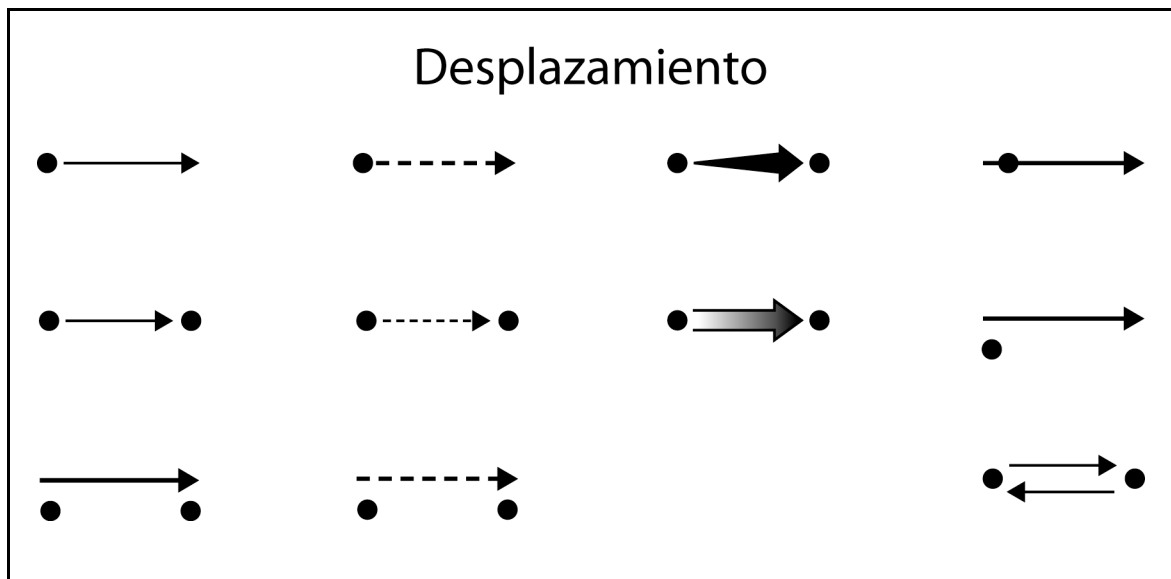


Figura 140: Distintas variantes para expresar desplazamiento de un cuerpo de un punto a otro.

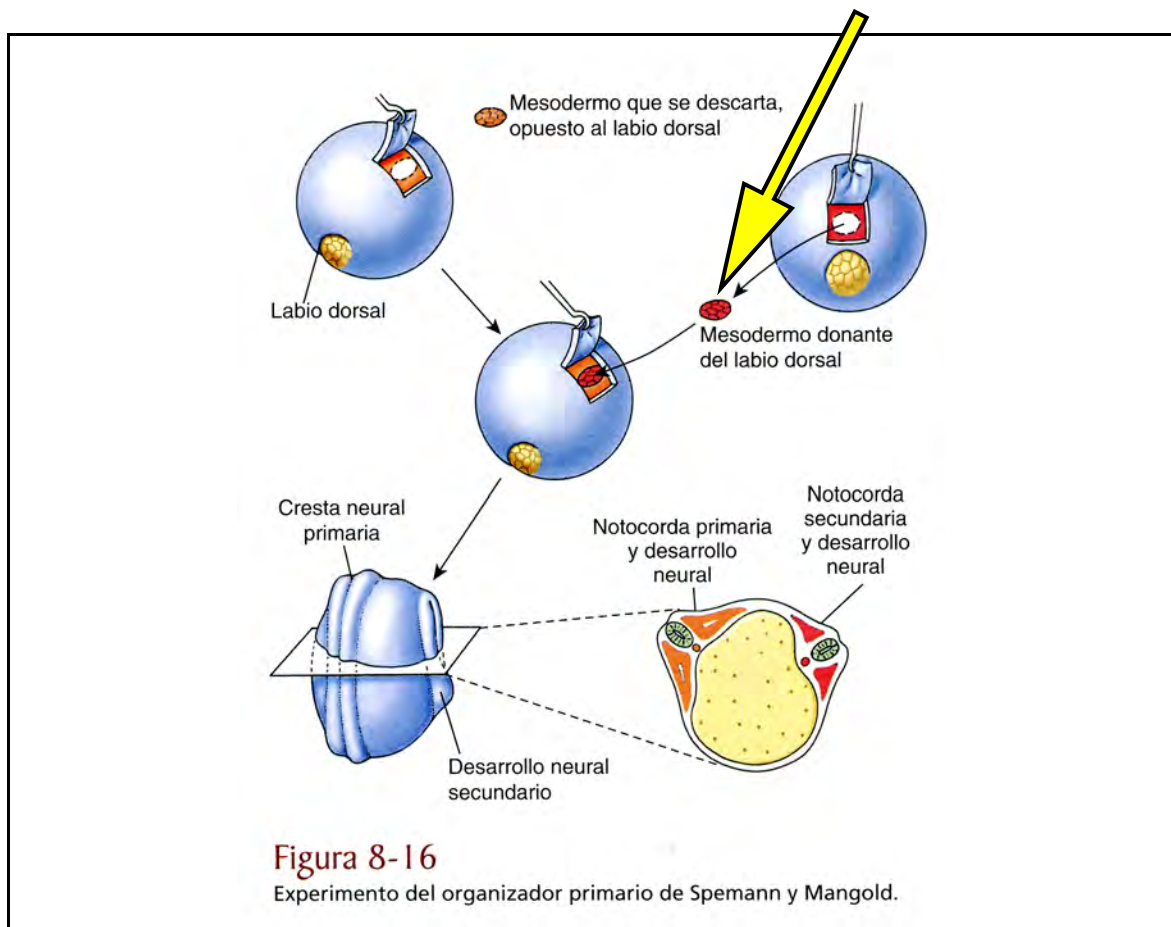


Figura 141: Representación de desplazamiento mediante el uso de flechas y la repetición del elemento en movimiento en una nueva posición (Tomado de Hickman et al., 2006).

En cuanto a la disposición de las flechas, lo más frecuente fue encontrarlas siguiendo la trayectoria del desplazamiento desde la posición inicial a la final (91%), aunque en algunos casos éstas estaban colocadas en paralelo con respecto a ella (9%).

En raras ocasiones (3%) se han visto otros recursos alternativos a las flechas en las figuras que representaban desplazamiento, tales como dobles contornos o estelas (Figura 142).

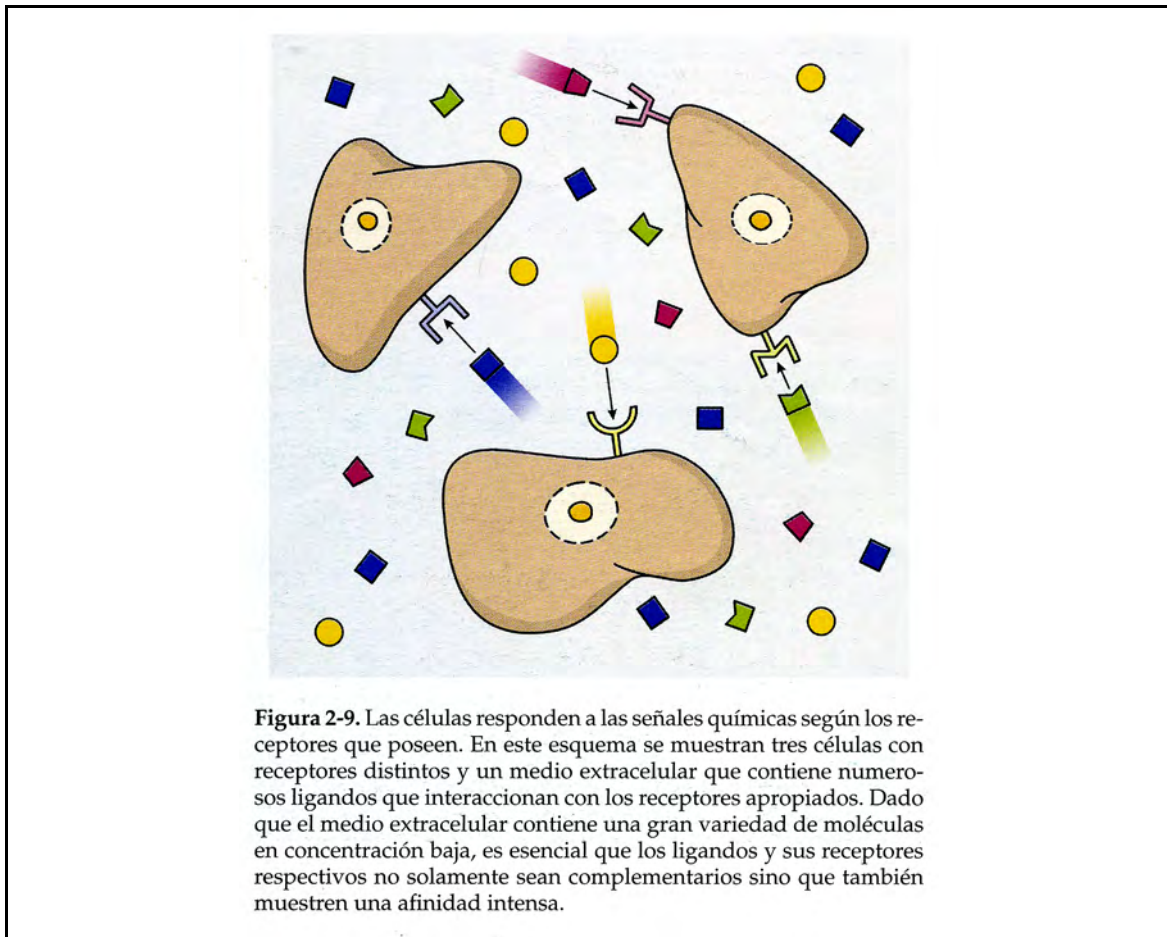


Figura 142: Representación del desplazamiento de elementos mediante el uso de estelas y flechas (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

Esporádicamente (2%), el movimiento se representó mediante secuencias ordenadas con caracteres alfabéticos y una adecuada disposición de las sucesivas etapas (principalmente de arriba abajo). En los casos encontrados el desplazamiento iba asociado a un cambio de forma (concretamente a un cambio de postura) (Figura 94).

Giro

Se han observado 10 combinaciones de recursos gráficos destinadas a la representación del movimiento de giro en las figuras analizadas, aunque todas ellas podían agruparse en tres categorías diferentes.

La primera de ellas empleaba una flecha trazada alrededor del objeto y sobre un plano perpendicular al eje de giro. Esta opción fue la observada con mayor frecuencia (39%) y se empleó principalmente cuando los elementos rotaban sobre su propio centro geométrico (Figura 143).

La segunda estrategia empleaba una o varias flechas que partiendo de un punto del objeto reproducían una pequeña parte de la trayectoria de giro (34%). Las flechas habitualmente fueron curvas, aunque en algún caso aislado fueron tangentes al arco recorrido por uno de los puntos del cuerpo (Figura 144). En algunos casos, las flechas se representaron con aspecto tridimensional. Esta modalidad se empleó para los elementos que giraban sobre un punto diferente a su centro geométrico, realizando un movimiento de abatimiento o de traslación.

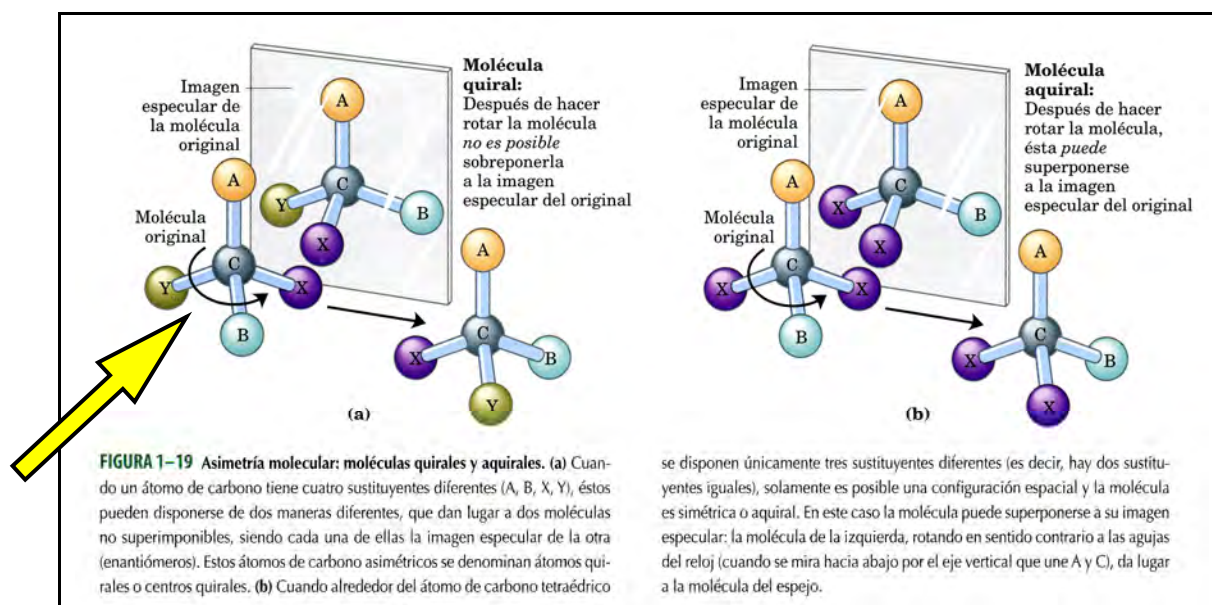


Figura 143: Representación de un movimiento de giro mediante flechas. En este caso concreto también se usa una secuencia de imágenes (unidas por una flecha) para indicar el aspecto anterior y posterior al giro (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

La tercera estrategia estaba basada fundamentalmente en la repetición de la figura del elemento en movimiento pero con otra posición y/o orientación (Figura 145). Ésta se observó en el 32 % de los casos, en alguno de los cuales también se empleó una flecha como la descrita en el segundo método expuesto. Normalmente el elemento repetido estaba trazado con línea discontinua y con menor frecuencia mediante alguna estrategia de atenuación de la forma (eliminación del trazo, representación incompleta de la figura, aumento del brillo del color de relleno, etc.).

En ambos casos se podía suponer la presencia de un eje de giro (representado o no) sobre el cual rotaba el objeto en movimiento. En las ilustraciones en las que el eje de giro fue dibujado, éste estaba formado por una línea de trazo discontinuo. Esto no coincide con la representación de los ejes de revolución según las normas ISO de dibujo técnico, según las cuales debe representarse mediante una línea de punto y trazo. En algunos casos, la presencia de piezas complementarias con la superficie de

contacto curva permitía suponer la presencia de una articulación, sugiriendo un giro potencial.

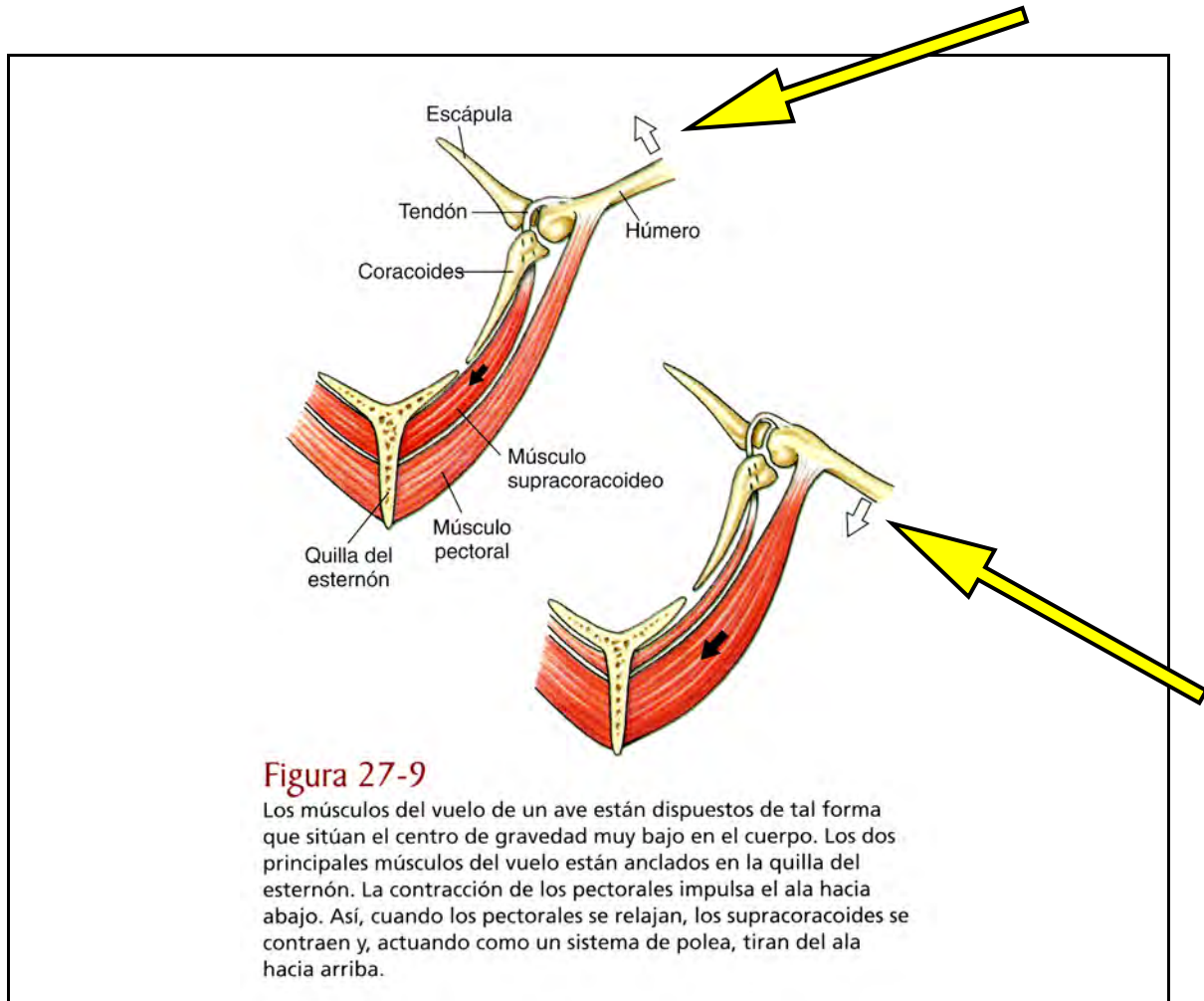


Figura 144: Representación de movimiento de giro mediante flechas tangentes a la trayectoria (Tomado de Hickman et al., 2006).

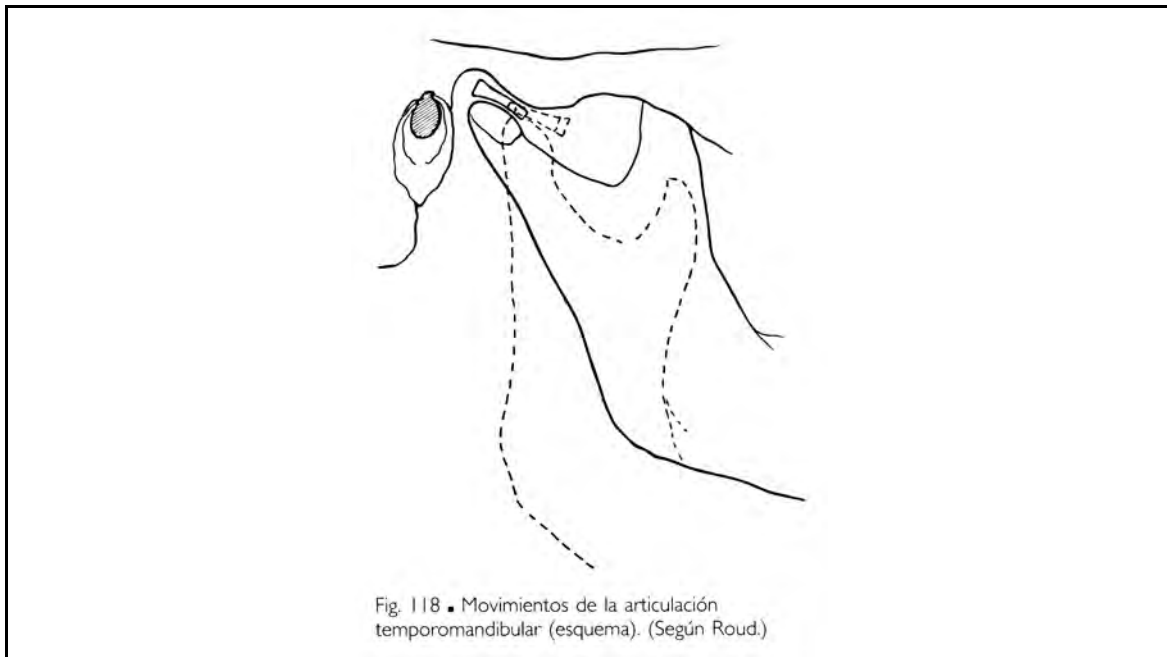


Figura 145: Representación del movimiento de giro de un objeto mediante la repetición del mismo en su posición inicial y final (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).

Flujo

Las 16 variantes gráficas que se encontraron en las imágenes analizadas para la representación de flujo emplearon una o más flechas como recurso básico. A diferencia del desplazamiento de un cuerpo aislado, el movimiento de fluidos o partículas múltiples se representó generalmente mediante grupos de flechas (63%). En la mayor parte de estas ocasiones (67%) dichas flechas estaban dispuestas en serie (Figura 147). En un menor número de figuras (33%), las flechas se dispusieron en paralelo, radialmente o con una orientación variable (Figura 148).

En los casos en los que el flujo estaba simbolizado por una única flecha (37%), ésta generalmente fue muy ancha, ocupando buena parte del diámetro de la cavidad o espacio por donde circulaba el fluido (Figura 146). En tubos y cavidades estrechas se observaron flechas únicas de pequeño grosor.

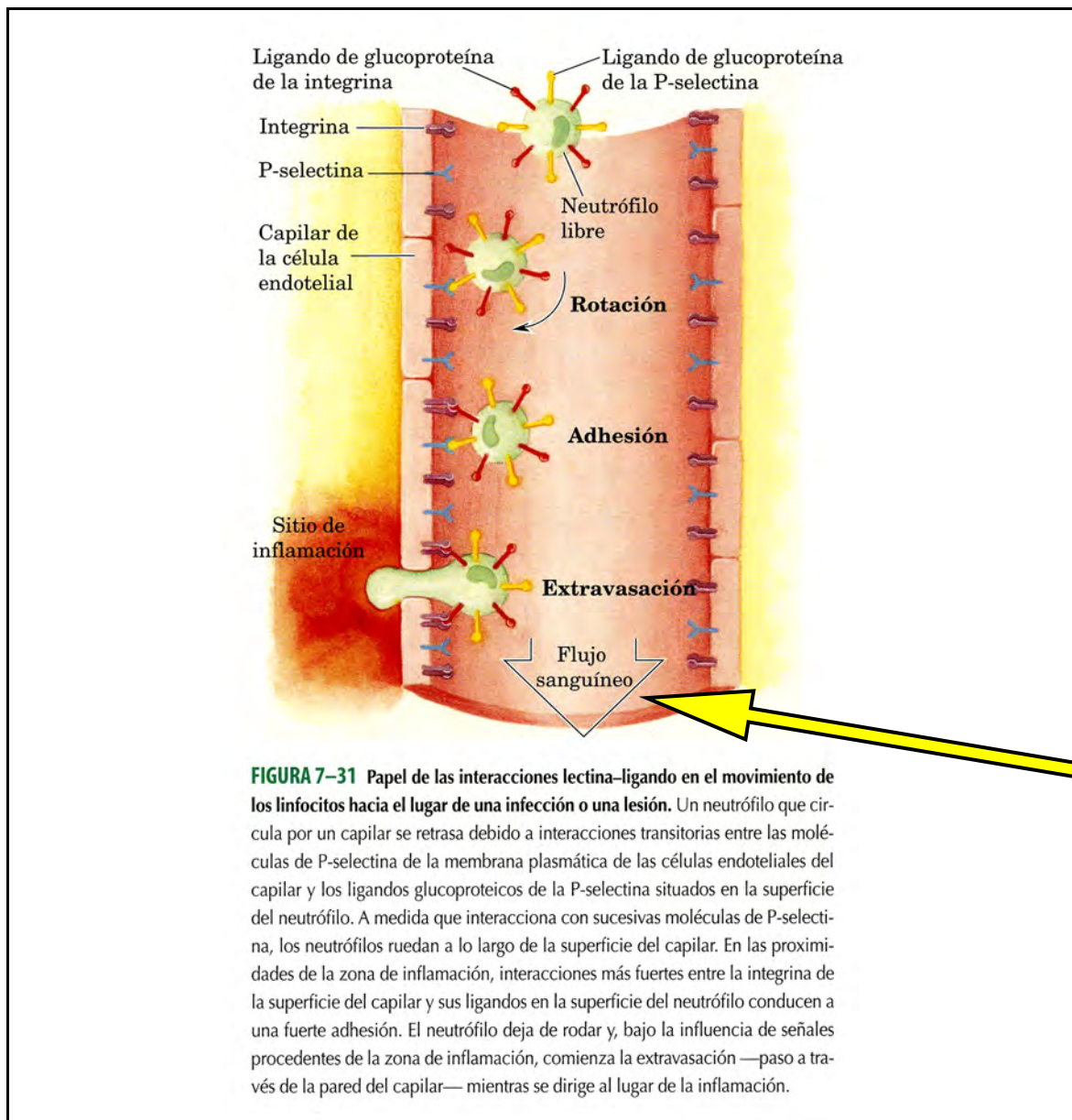


Figura 146: Flujo representado mediante flecha ancha (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

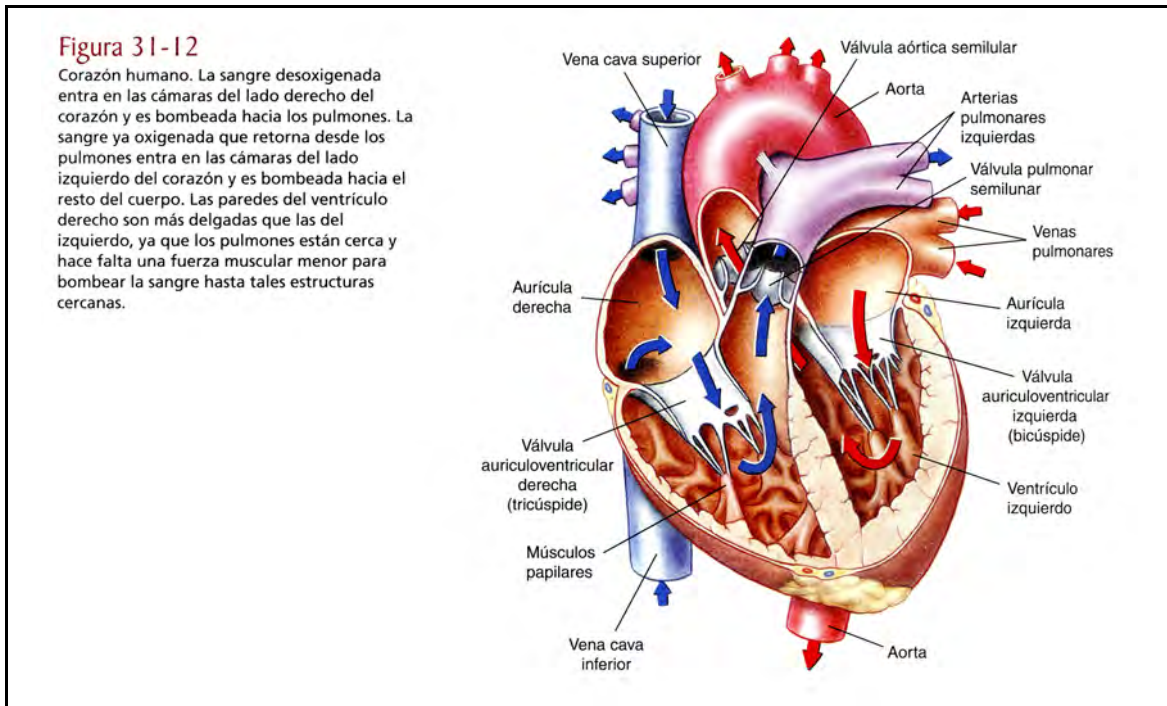


Figura 147: Representación de flujo mediante flechas en serie (Tomado de Hickman et al., 2006).

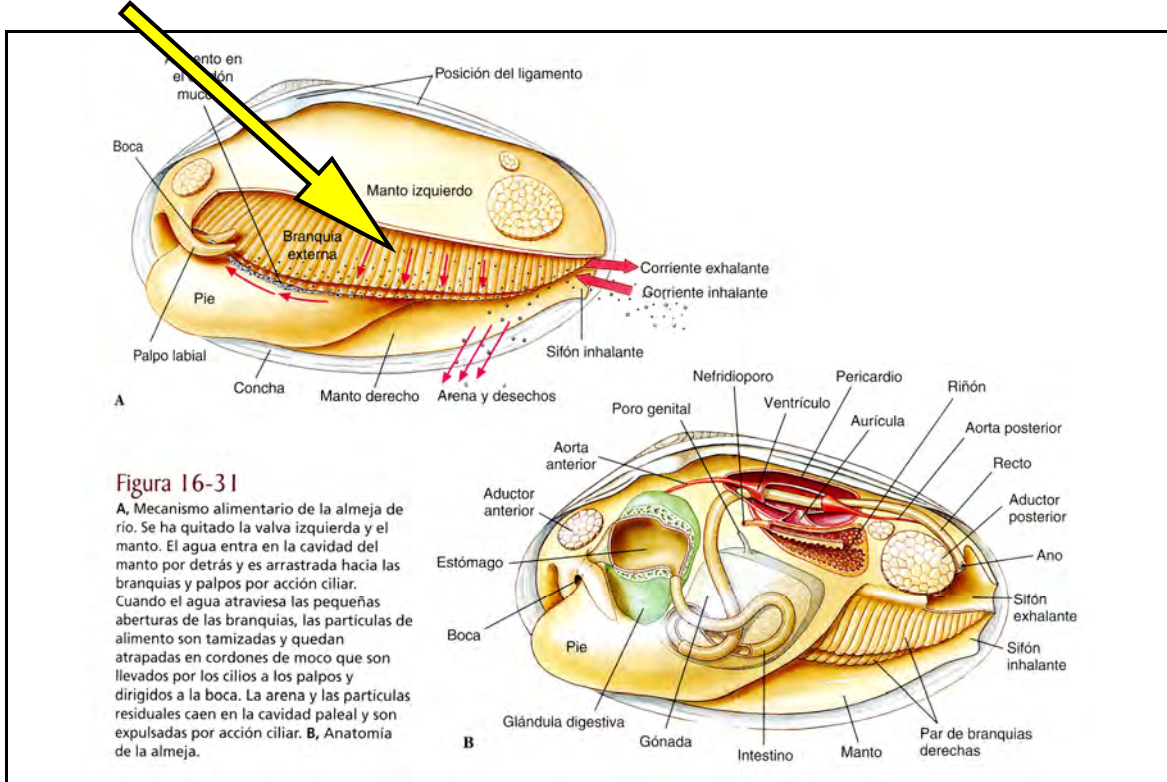


Figura 148: Representación de flujo mediante flechas paralelas (Tomado de Hickman et al., 2006).

Traspaso

Muchas de las combinaciones de recursos identificadas en las figuras analizadas que sugerían el traspaso de un elemento o sustancia a través de una barrera, fueron similares a las empleadas para representar el desplazamiento de cuerpos en el espacio, residiendo la diferencia fundamental en la presencia de un obstáculo que era preciso atravesar (habitualmente una membrana biológica). Prácticamente todos los casos (96%) se representaron mediante flechas. La modalidad más habitual (57%) fue la que mostraba el traspaso mediante una flecha que, partiendo de la posición inicial, atravesaba la estructura que actuaba como barrera. La segunda combinación más frecuente (20%) empleaba una flecha para unir las representaciones del objeto en la posición inicial y la final. Otras variantes se observaron con menos frecuencia, tales como representar únicamente el elemento en la posición final y su trayectoria mediante una flecha (10%) o la representación únicamente de la trayectoria mediante una flecha rotulada indicando la sustancia en movimiento (13%). En todos los casos, la flecha atravesaba por completo la barrera y los elementos se ubicaban a ambos lados de ella. Algunas modalidades, sin embargo, eran bastante específicas, como sucede con las estrategias empleadas para indicar los diferentes tipos de transporte de sustancias a través de la membrana celular (Figura 149 y Figura 150).

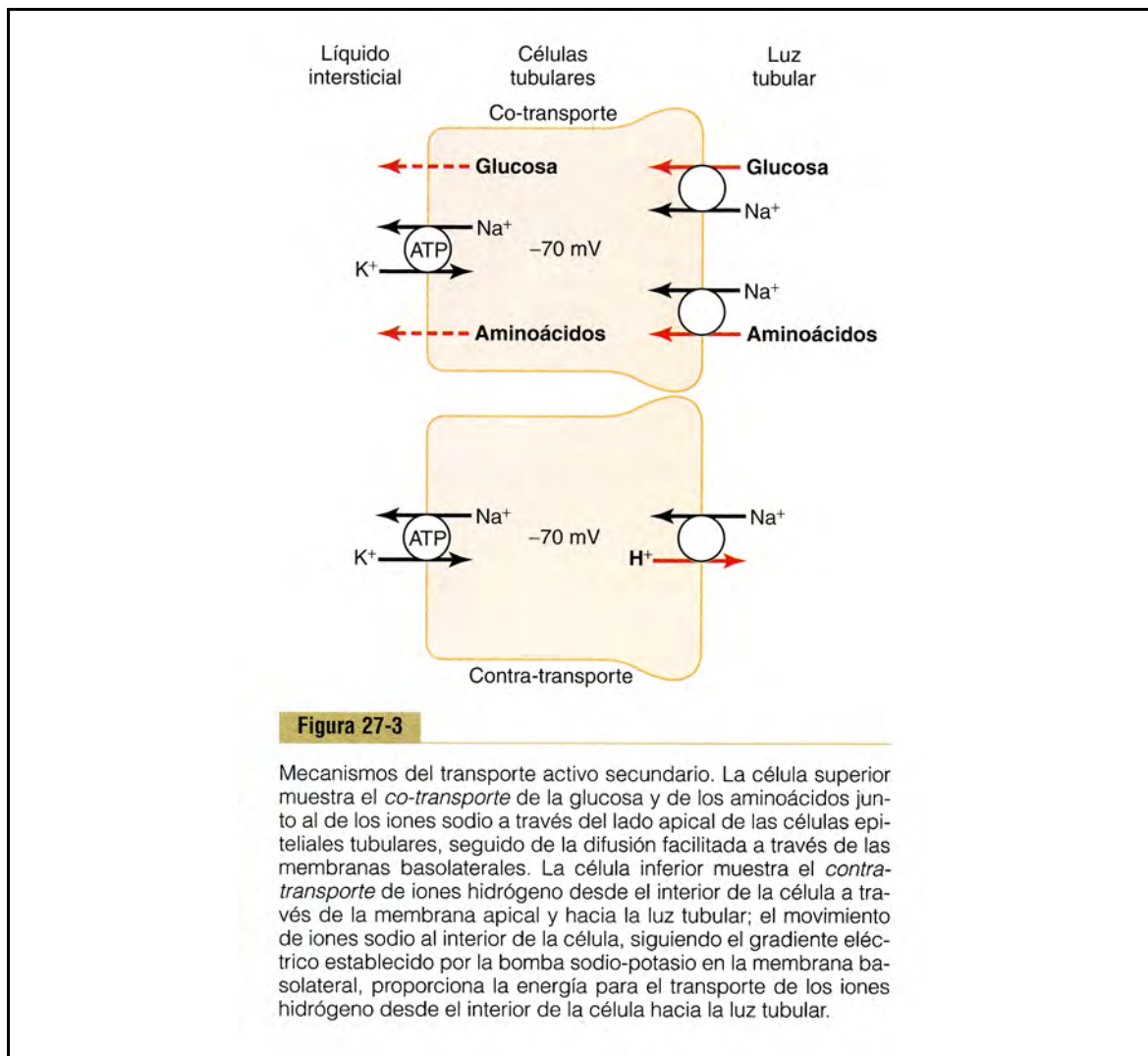


Figura 27-3

Mecanismos del transporte activo secundario. La célula superior muestra el *co-transporte* de la glucosa y de los aminoácidos junto al de los iones sodio a través del lado apical de las células epiteliales tubulares, seguido de la difusión facilitada a través de las membranas basolaterales. La célula inferior muestra el *contra-transporte* de iones hidrógeno desde el interior de la célula a través de la membrana apical y hacia la luz tubular; el movimiento de iones sodio al interior de la célula, siguiendo el gradiente eléctrico establecido por la bomba sodio-potasio en la membrana basolateral, proporciona la energía para el transporte de los iones hidrógeno desde el interior de la célula hacia la luz tubular.

Figura 149: Representación de diferentes tipos de transporte de sustancias a través de membranas celulares. Las flechas discontinuas indican el paso de sustancias a través de la membrana celular por difusión, mientras que las flechas continuas indican transporte activo mediante una estructura que actúa a modo de bomba, introduciendo o sacando sustancias de la célula (representada con un círculo) (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

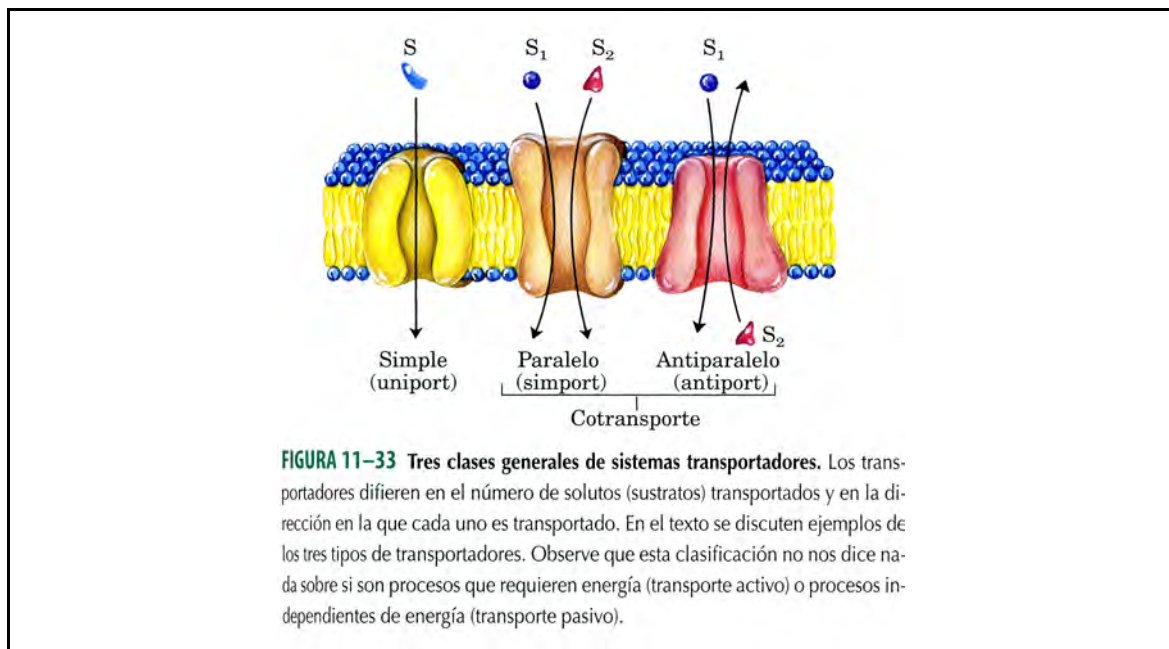


Figura 150: Representación mediante flechas de diferentes tipos de transporte de sustancias a través de membranas celulares (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

Un caso también especial de traspaso, según los recursos encontrados para su representación, lo constituye la secreción de sustancias a partir de una glándula o célula. En estos casos, ha sido frecuente encontrar, como en la representación del flujo, flechas de disposición radial con el origen en el punto de secreción y las terminaciones orientadas según direcciones divergentes. Además, en varias ocasiones se ha observado la introducción de otros recursos como la repetición de elementos, creando un degradado de densidad desde el origen de secreción hacia la periferia, o degradados de color con una disposición similar (Figura 151).

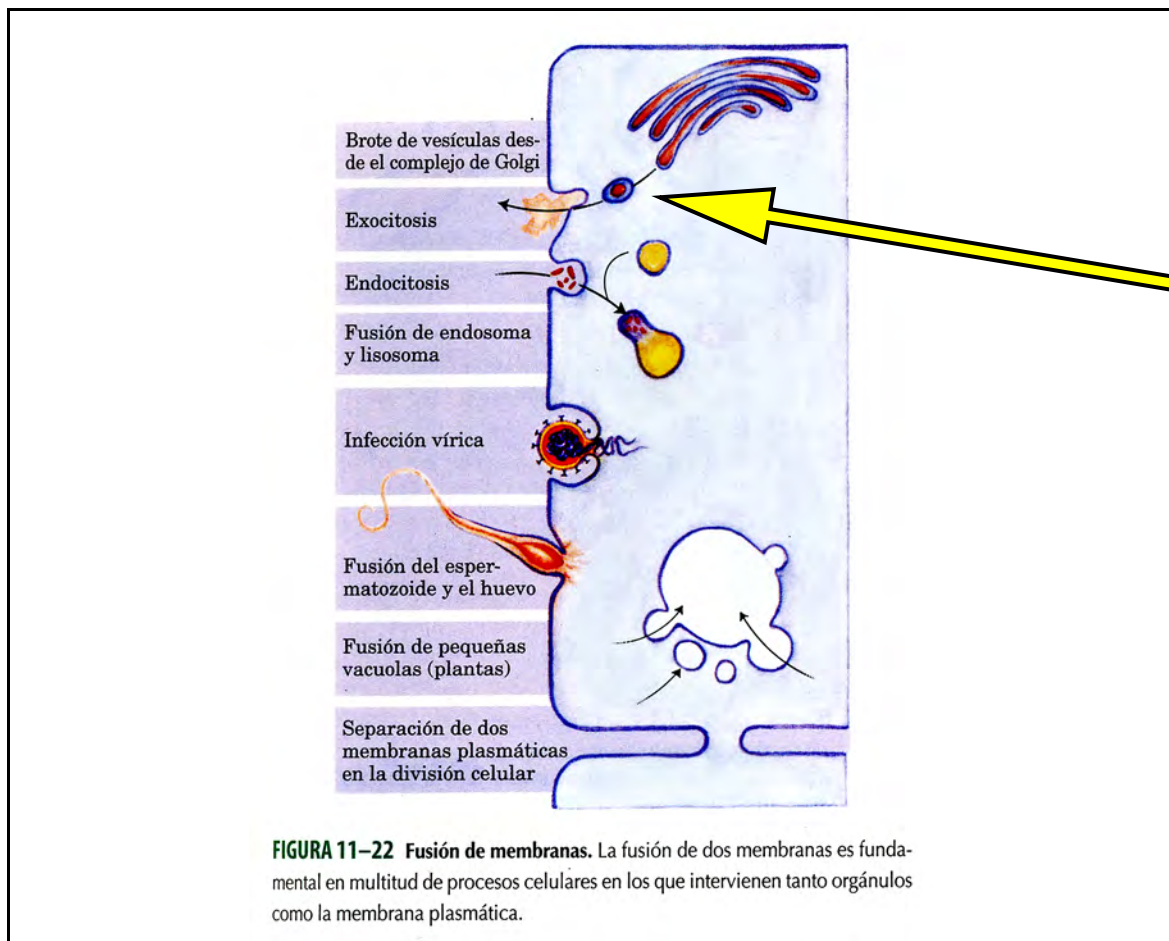


Figura 151: Representación de secreción mediante flechas y degradados de color (Tomado de Nelson y Cox, 2009).

REACCIÓN QUÍMICA

Se han encontrado abundantes figuras en las que se representaban reacciones químicas. No obstante, debido a que este tipo de concepto se expresa habitualmente siguiendo una serie de normas ya establecidas, como las que propone la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), se ha optado por excluir a éstas del presente estudio.

TEMPORALIDAD

Definición

Cualidad de una ilustración por la que se representa la duración y/o el orden de los sucesos.

Recursos empleados

En muchas de las ilustraciones consideradas para el estudio pudo apreciarse alguna forma de temporalidad. No obstante, sólo se tomaron en cuenta para este apartado aquellas imágenes en las que la duración de los sucesos o su ordenación eran uno de los principales conceptos manejados. Fundamentalmente, lo que se encontró representado en las imágenes valoradas fue el orden cronológico y no la duración temporal de los sucesos, que sólo se mostró en casos esporádicos.

Las secuencias temporales identificadas incluían uno o varios de los siguientes procesos: cambio morfológico, movimiento, unión o división, destrucción o a acciones de unos elementos sobre otros.

La principal estrategia observada para expresar temporalidad estaba basada en el uso de flechas (69%), siendo la misión de éstas relacionar las diferentes etapas representadas (Figura 152).

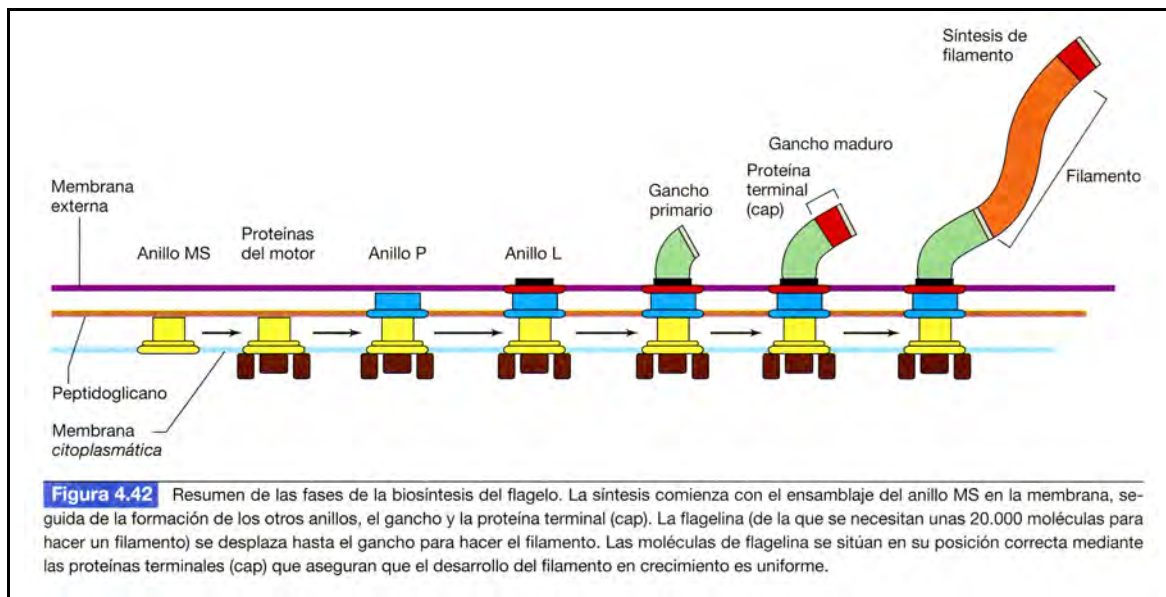


Figura 152: Representación de secuencia temporal mediante la repetición de elementos con cambio de forma y de posición, ordenados y enlazados con flechas (Tomado de Brock et al., 2004).

La segunda estrategia más frecuente empleada para representar temporalidad (63%) fue la repetición en distintas posiciones de los elementos que participan en el proceso, creando una secuencia con diversas etapas ordenadas espacialmente según diferentes criterios. Esta estrategia se vio complementada en la mayor parte de los casos por el uso de flechas. Dentro de las disposiciones de etapas encontradas, las más abundantes (70%) fueron las orientadas verticalmente de arriba hacia abajo. No se encontraron ordenaciones verticales de abajo hacia arriba. La segunda variante más frecuente estuvo constituida por las secuencias cíclicas, las cuales supusieron el 16% de las series ordenadas. Éstas se orientaron en su mayor parte según el sentido horario (65%) (Figura 153) y en menor parte en sentido anti-horario (35%). Por último, la ubicación de las etapas según la dirección horizontal, de izquierda a derecha, representó el 14% de las secuencias temporales con un orden espacial. Tampoco se encontraron disposiciones de derecha a izquierda.

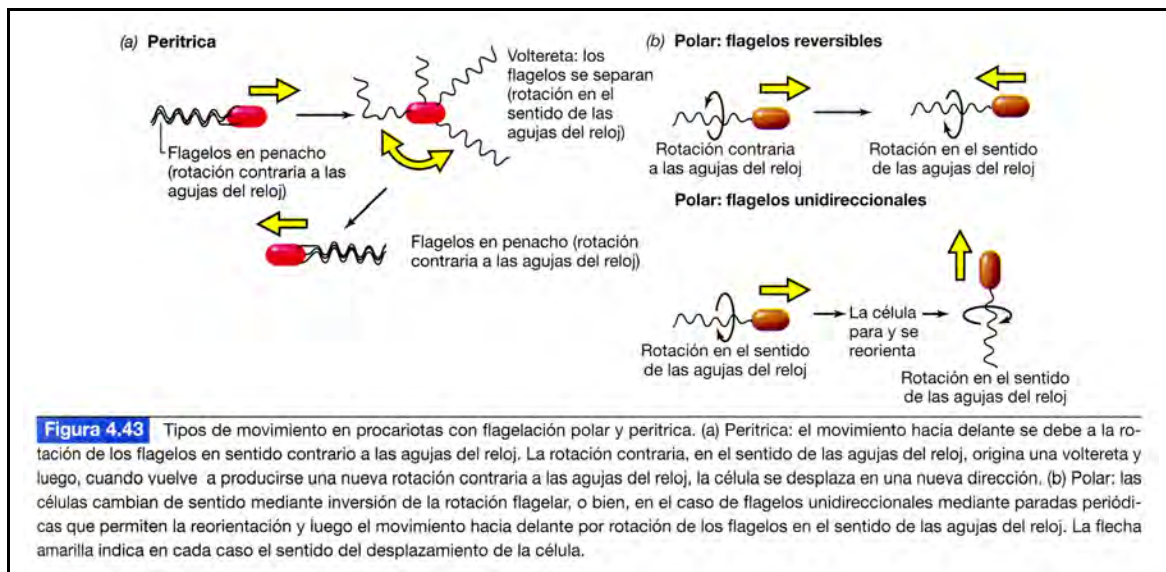


Figura 154: Representación de secuencia temporal mediante textos descriptivos y repetición de elementos en diferente posición enlazados con flechas (Tomado de Brock et al., 2004).

En las ilustraciones en las que se prescindió del uso de flechas (31%), el orden se estableció fundamentalmente por la repetición de elementos en una disposición espacial ordenada y por la introducción de caracteres alfabéticos o numéricos. Únicamente una pequeña parte de las imágenes que no poseían flechas carecían también de cifras o letras como elementos de ordenación temporal.

No obstante, en buena parte de las ilustraciones que mostraban temporalidad (37%) no se identificó un orden espacial predominante. Estas imágenes se correspondían con diagramas complejos en los que se representaban diferentes procesos interrelacionados. En dichas figuras, las flechas fueron los elementos básicos de ordenación temporal.

Otro aspecto indicador de temporalidad es la modificación de los elementos que se repiten en la secuencia. Así, en aquellas imágenes en las que se mostraba una transformación, siempre se reprodujo la misma mediante un cambio de figura del objeto (Figura 153). Con frecuencia se asociaron cambios de color o textura cuando se

quería reflejar además un cambio de composición química del modelo (Figura 155). Por otra parte, en las secuencias en las que se reproducía un movimiento, éste se reflejaba con el cambio de posición relativa de alguno de los elementos con respecto a los otros en la imagen repetida.

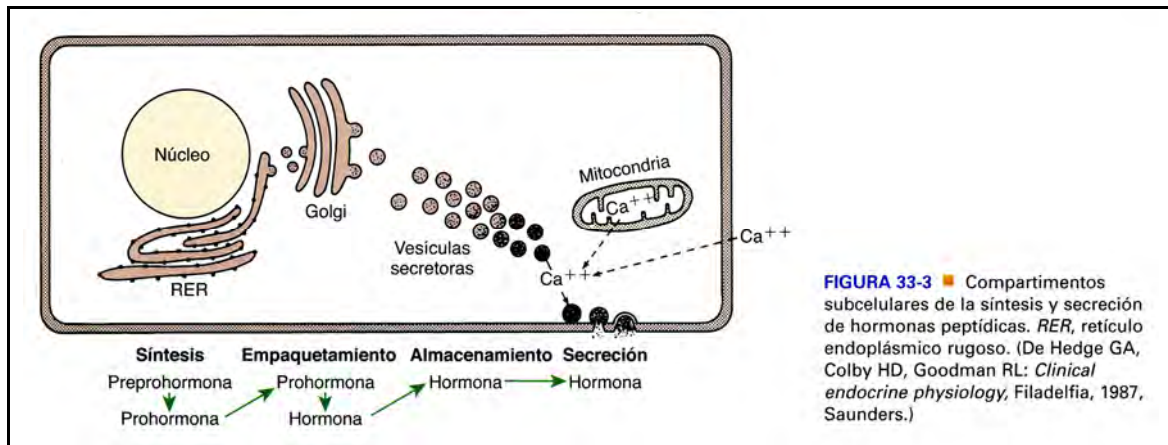


Figura 155: Transformación representada mediante cambio de textura (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

UNIÓN

Definición

Acción y efecto de juntar dos o más cosas entre sí, haciendo de ellas un todo.

Existen diferentes modalidades de unión, tales como mezcla, fusión, etc. (ver Tabla 7 en página 242).

Recursos empleados

Los métodos encontrados en la muestra estudiada para representar la unión de elementos o partes fueron muy similares a los hallados para sugerir la división de los mismos. Se han identificado diferentes modalidades de unión, como el acoplamiento, la mezcla, el agrupamiento y la fusión. El más empleado fue nuevamente la flecha (100% de los casos). Generalmente se utilizó para asociar dos o más elementos

sueltos con el objeto resultante de la fusión (67% de las figuras que representaban unión) (Figura 156). Este efecto se complementó con un cambio de forma y/o de posición de los elementos a unir para integrarlos en un nuevo cuerpo.

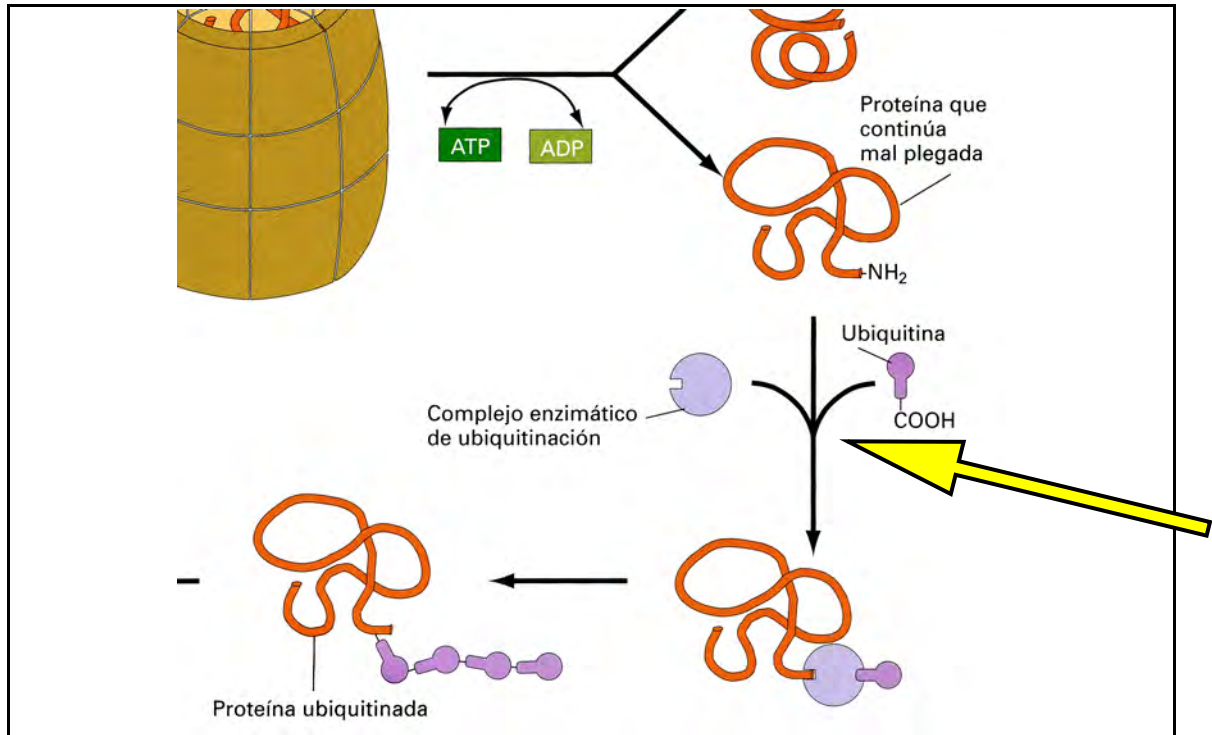


Figura 156: Representación de unión (acoplamiento de varios elementos) mediante flechas confluentes (Fragmento tomado de Paniagua et al., 2007).

En los casos en los que se mostraba una mezcla de líquidos, gases o sólidos en polvo, se añadió a los anteriores recursos el cambio de color de la combinación resultante, generalmente representado por la mezcla subtractiva de los colores de los elementos unidos.

1.4.2 COMBINACIONES DE RECURSOS MÁS PREVALENTES

En la Figura 157 se muestra una serie de ilustraciones esquemáticas que sintetizan aquellos recursos que han destacado especialmente por su frecuencia de uso en la representación de un determinado concepto. No se incluyen, por tanto,

ejemplos de todos los conceptos sino aquellos que pueden ser expresados mediante una imagen prototípica que es el resultado de su uso consolidado por los ilustradores científicos (una tercera parte de todos los conceptos identificados en este estudio).

Esta imagen puede ser útil como orientación para los ilustradores que desean expresar una idea concreta y también de cara al establecimiento de unas pautas de representación gráfica de conceptos en las ciencias que estudian los seres vivos.

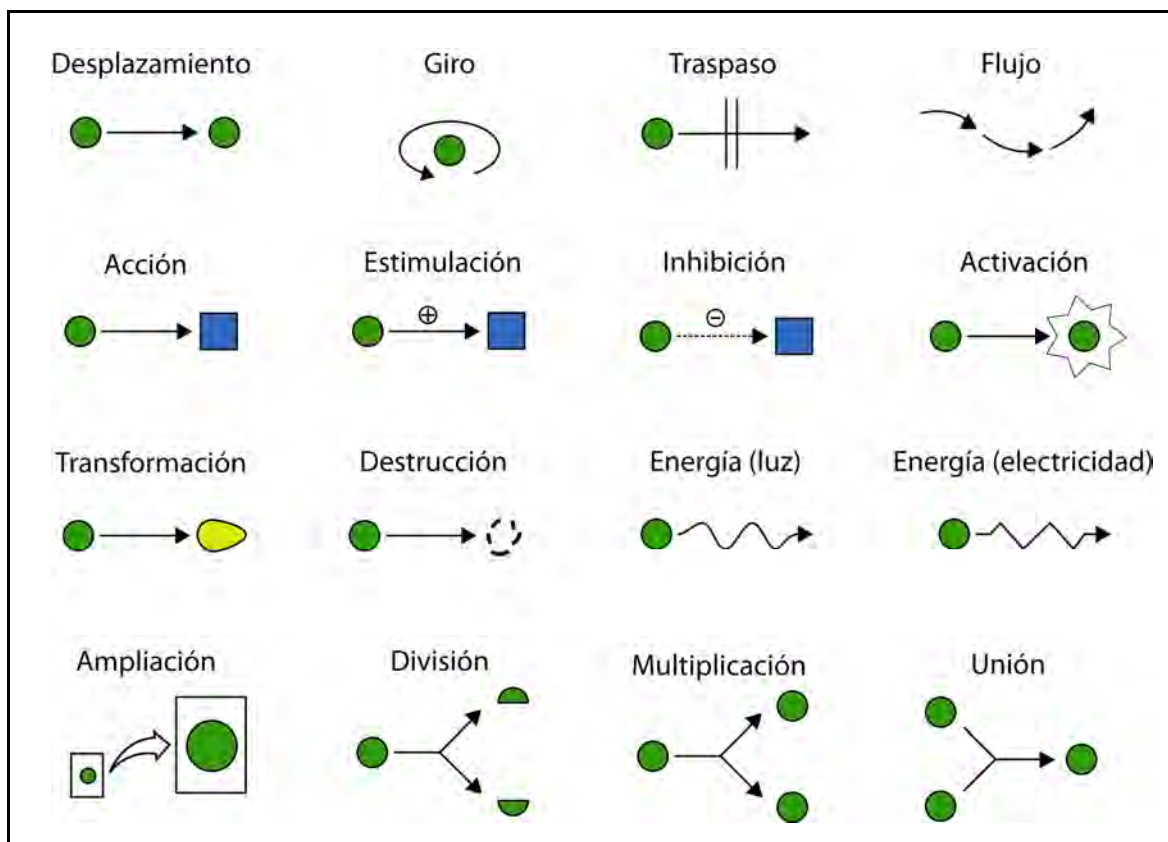


Figura 157: Combinaciones de los recursos gráficos que han demostrado estar más consolidados por su uso en las ciencias que estudian los seres vivos, según los resultados del estudio. En ella se incluyen 16 de los 43 conceptos identificados.

1.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO I

A continuación se exponen las conclusiones específicas del Estudio I. Éstas serán complementadas con las conclusiones generales de la tesis que pueden consultarse en la página 351.

1.5.1 CONCEPTOS Y COMBINACIONES DE RECURSOS

En cuanto a los resultados obtenidos, como era esperable se ha encontrado una **gran variedad de conceptos elementales representados** en las ilustraciones analizadas (ver Tabla 7 en página 242), lo que concuerda con la gran cantidad de contenidos distintos que son manejados en las diferentes materias científicas y que es preciso transmitir por medio de tratados elementales a aquellos alumnos que se inician en el conocimiento de cada disciplina. Estos conceptos pueden agruparse en una serie de categorías básicas que se recogen también en la Tabla 7.

Por otra parte, se ha comprobado que existe una **gran variedad de combinaciones de recursos disponibles para expresar un concepto concreto**, por lo que con frecuencia éste puede ser expresado gráficamente de múltiples formas. Cada una de dichas combinaciones puede utilizarse en diferentes ilustraciones con la finalidad de aportar un matiz diferente en su significado. No obstante, es preciso tener en cuenta que la variación del recurso empleado para sugerir un determinado efecto puede crear cierta confusión en el lector, pudiendo sugerir erróneamente la idea de que se trata de conceptos diferentes. Con mayor frecuencia, lo que sucede es que un determinado concepto es expresado de forma sinérgica mediante diferentes técnicas en una misma imagen, generando una **redundancia en la utilización de recursos gráficos** (ver Figura 86 en página 246). Esto resulta de gran utilidad para reforzar su significado y evitar posibles ambigüedades. Sin embargo, la excesiva acumulación de

información gráfica puede también originar un cierto desconcierto y la pérdida de interés del observador. Por tanto parece fundamental guardar un cierto equilibrio en la repetición de información.

Otro hecho destacable es la **frecuente multiplicidad de significados** que poseen algunos recursos gráficos según las circunstancias. Por ejemplo, se ha comprobado la intensa utilización de determinados recursos, tales como las flechas, con distinta intención representativa dependiendo del contexto. Pese a que esta versatilidad puede suponer una ventaja, en ocasiones puede convertirse en un inconveniente, ya que un mismo elemento gráfico adquiere significados muy distintos, que a veces sólo es posible establecer una vez comprendido el sentido global de la ilustración. De hecho, su carácter polivalente se debe principalmente a su baja especificidad (ver Figura 92 en página 251).

En muchas ocasiones, se apreció en los recursos empleados la existencia de una base perceptiva que permitía su interpretación intuitiva sin necesidad de aprendizaje previo y sin problemas de comprensión derivados del contexto cultural, siendo este caso el más deseable. No obstante, en el análisis realizado también se ha comprobado el **uso frecuente de convencionalismos** que deben ser previamente aprendidos para deducir el significado de la imagen. Esto obliga al lector a realizar inicialmente un trabajo extra, si bien es cierto que a largo plazo, pueden suponer una ventaja debido a su simplicidad y a su mayor objetividad en relación con las representaciones no convencionales. Muchos de estos recursos tienen un carácter abstracto y son más frecuentemente utilizados en algunas materias concretas, como la bioquímica, la biología molecular o la fisiología, entre otras.

Otra cuestión interesante es la **existencia de conceptos que poseen una representación más consolidada por el uso** a la vista de los resultados obtenidos, frente a otros cuya forma de representación es muy variable. Además, incluso en los que no poseen una forma de expresión gráfica predominante, pueden identificarse una serie de **recursos que son usados con asiduidad y que pueden ser combinados en una representación prototípica**. Esto es importante de cara al posible establecimiento de normas para la descripción gráfica de determinadas ideas, puesto que aquellas estrategias utilizadas con más frecuencia tendrían más posibilidades de ser consideradas como método de preferencia para simbolizar la noción considerada que aquellas de uso infrecuente. En la **Figura 157 (página 324)** se muestra una serie de dibujos esquemáticos con una combinación de los recursos más empleados para la expresión de aquellos conceptos cuya representación estaba más consolidada.

En este sentido, **existen algunos conceptos cuya representación en la actualidad ya se encuentra total o parcialmente normalizada**. Este es el caso de las reacciones químicas o la representación esquemática de moléculas, cuyos estándares han sido propuestos por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC). Igualmente, determinados elementos empleados habitualmente en dibujo técnico, tales como las líneas de cota, las escalas o los ejes de giro, por poner algunos ejemplos, están sometidos a una serie de normas establecidas por diferentes instituciones normalizadoras de ámbito nacional (Normas UNE españolas) o internacional (Normas ISO). En estos casos, parece lógico tratar de respetar también en ilustración científica las pautas de representación por ellas indicadas, lo cual no siempre se hace.

Otro hecho destacable es que **la frecuencia con que son representados cada uno de los conceptos en un tratado depende en buena medida de la**

materia que éste trata. Así, por ejemplo, los libros de anatomía se componen en buena medida de imágenes descriptivas en las que predominan las representaciones morfológicas del modelo, mientras que en los tratados de zoología, además de las descripciones morfológicas abundan conceptos como el desarrollo o la filogenia. Ésta fue una de las razones que motivó la inclusión de tratados de diferentes temáticas en el estudio, aunque tal y como se explicó en el apartado de metodología, no fue posible abarcar todas las materias de cada una de las disciplinas consideradas. Por este motivo, sería recomendable en el futuro realizar estudios similares que incluyeran otras materias no contempladas en este estudio, tales como la anatomía patológica, la patología general, la cirugía humana y veterinaria, la botánica, etc.

Finalmente, pese al amplio repertorio de técnicas de representación encontradas en las diferentes ilustraciones analizadas, hay que destacar la **escasa utilización de determinados recursos que se emplean habitualmente en otros tipos de imagen.** Así, por ejemplo, existen técnicas de uso frecuente en pintura, publicidad, ilustración de cómics, etc., a las que apenas se recurre en ilustración científica, o que únicamente se emplean en imágenes divulgativas o de tipo editorial. Esto, por un lado empobrece el abanico de posibilidades representativas pero, por otro, evita las ambigüedades que estos procedimientos, a menudo demasiado poéticos, pudieran generar en la imagen.

Llama especialmente la atención la escasa incorporación en las ilustraciones científicas de **recursos más específicos de otros tipos de ilustración** y particularmente del cómic, dónde son especialmente ricos, lo que puede deberse al carácter más informal que poseen estos. No obstante, con ello se rechaza un amplio repertorio de efectos gráficos de alta efectividad y con una gran capacidad de impacto en el observador. Además, hay que tener en cuenta que los usuarios de tratados

científicos, especialmente los de materias introductorias, están ya familiarizados culturalmente con los simbolismos y elementos gráficos que suelen aparecer en los cómics, por lo que serían fácilmente comprendidos sin necesidad de un entrenamiento adicional. Entre los citados recursos, las líneas cinéticas, las estelas y líneas de líneas de vibración, conceden un gran dinamismo a la escena y permiten inferir, entre otras cosas, la trayectoria del desplazamiento, su sentido, velocidad, aceleración, etc., favoreciendo la representación mental del movimiento..

Tampoco se observaron apenas ciertos **recursos propios de otras formas de expresión artística basadas en la imagen, como la pintura, el dibujo o el grabado.**

Uno de ellos es la **geometrización** o representación de una superficie continua mediante una descomposición en planos de color homogéneo, sugiriendo un volumen poliédrico del objeto representado. En ocasiones esto es reforzado por la inclusión de líneas de contorno que delimitan cada una de las facetas creadas. Este es un recurso infrecuente en ilustración científica debido probablemente a que distorsiona el aspecto del modelo representado y no presenta ventajas claras frente a otros esquemas en la capacidad de esquematización o simplificación, ni tampoco a la hora de resaltar alguna de sus características.

Otro recurso poco empleado es la desarticulación y distorsión del espacio que se produce frecuentemente en obras pictóricas mediante la **representación en el plano de una visión en perspectiva con dos puntos de vista simultáneos.** Esta técnica puede apreciarse en numerosas imágenes pictóricas, especialmente a partir de la obra de Cezanne, y de nuevo se trata de una representación alterada de la realidad con una finalidad fundamentalmente estética, pese a que la intención original fuera alcanzar una representación más fiel de la percepción visual. No obstante, la proyección diédrica podría considerarse en cierto modo una técnica emparentada con

ésta, ya que en ella igualmente se ofrecen de forma simultánea percepciones visuales que se corresponden con diferentes puntos de vista. Igualmente, los planos en los que se desarrolla la superficie del globo terrestre constituyen un ejemplo de aplicación de una técnica similar.

La **abstracción de la figura** es igualmente un recurso plástico prácticamente ausente en la ilustración científica. Esto se debe a que en esta disciplina se persigue, o bien la representación fiel de la forma de los elementos estudiados o, en todo caso, su simplificación de cara a crear esquemas conceptuales. En este segundo caso, no obstante, suelen conservarse los rasgos esenciales de la figura del objeto. Únicamente en aquellos casos en los que se desea realizar una reducción de una entidad compleja para su inclusión, por ejemplo en un diagrama, ésta puede ser representada mediante una figura sencilla que actúa entonces como símbolo. De cualquier manera, todo lo que se puede contemplar en una ilustración científica representa de una forma u otra a un elemento real o hipotético.

La **deformación de la figura** es un recurso empleado en ocasiones en ilustración científica, aunque generalmente con una intención diferente a la de otras formas de expresión. La caricaturización, por ejemplo no es un recurso habitualmente empleado en la imagen científica, puesto que no es objeto de ésta la deformación con fines satíricos del objeto representado. Tampoco es habitual la deformación producida con fines estéticos, tales como la estilización característica de la obra de Giacometti o, por el contrario, la exagerada gordura de los personajes pintados por Antonio Botero. No obstante, sí puede deformarse, por ejemplo, un objeto con el fin de mostrar la importancia jerárquica de cada una de sus partes o para definir la temporalidad o establecer relaciones de proporcionalidad. Otro caso frecuente de deformación de la

figura, que ya se ha comentado anteriormente, es el que tiene que ver con la simplificación con fines esquemáticos.

La **pérdida de los límites de las formas** pertenecientes a objetos diferentes, muy habitual en obra gráfica y pictórica, es una técnica poco deseable por lo general en ilustración científica, debido a que casi siempre resulta más oportuna la definición clara de las formas dibujadas para su rápido reconocimiento y fácil distinción de otros elementos. Esta desaparición de fronteras puede deberse a la utilización de planos del mismo color para las formas en contacto, o incluso superpuestas, que carecen de línea de contorno, pero también puede deberse a la indefinición de los bordes de la figura creada mediante un degradado de color. No obstante, en ilustración científica, el trazo de contorno se encarga de establecer barreras entre las formas representadas en la mayor parte de los casos y reforzado muchas veces por otras estrategias en las que participa el color, la textura, la rotulación, etc.

La **separación del relleno y del trazo de una forma** se ve con relativa frecuencia en ilustración no científica y en otras manifestaciones artísticas. Este es un recurso frecuente, por ejemplo en xilografía, donde imprime un aspecto accidental a la obra que aporta un cierto interés estético. En ilustración de cómic y humorística también es utilizado para crear diferentes sensaciones, como por ejemplo la de movimiento o inestabilidad. No obstante, en la imagen científica su uso supondría un posible foco de confusión y por tanto es raramente empleado.

1.5.2 INTEGRACIÓN DE ILUSTRACIONES Y DIAGRAMAS

En primer lugar, hay que destacar que resulta difícil establecer un límite claro entre ilustraciones y diagramas, siendo éste uno de los motivos por los cuales se decidió su estudio conjunto. Aunque a simple vista parece fácil distinguir, por ejemplo,

una ilustración que describe la morfología de un animal, de un diagrama que muestra el funcionamiento de su sistema endocrino, existen numerosas imágenes que están a caballo entre ambos extremos. Si atendemos a la estructura general de un diagrama, éste suele constar de diferentes nodos o elementos conectados por líneas o flechas, mediante las cuales generalmente se expresan relaciones entre ellos (jerárquicas, de orden temporal, acciones de unos sobre otros, etc.). Los nodos habitualmente están constituidos por texto encerrado por una figura geométrica, principalmente rectangular u oval. No obstante, en los libros de ciencia se sustituyen muy frecuentemente estos nodos convencionales por ilustraciones más o menos esquemáticas de los elementos participantes en el proceso descrito por el diagrama, creándose una imagen híbrida. La diferenciación se hace aún más complicada cuando en una ilustración aislada, como la del animal previamente citada, se establece de forma esporádica algún tipo de relación representada habitualmente por flechas (Figura 158).

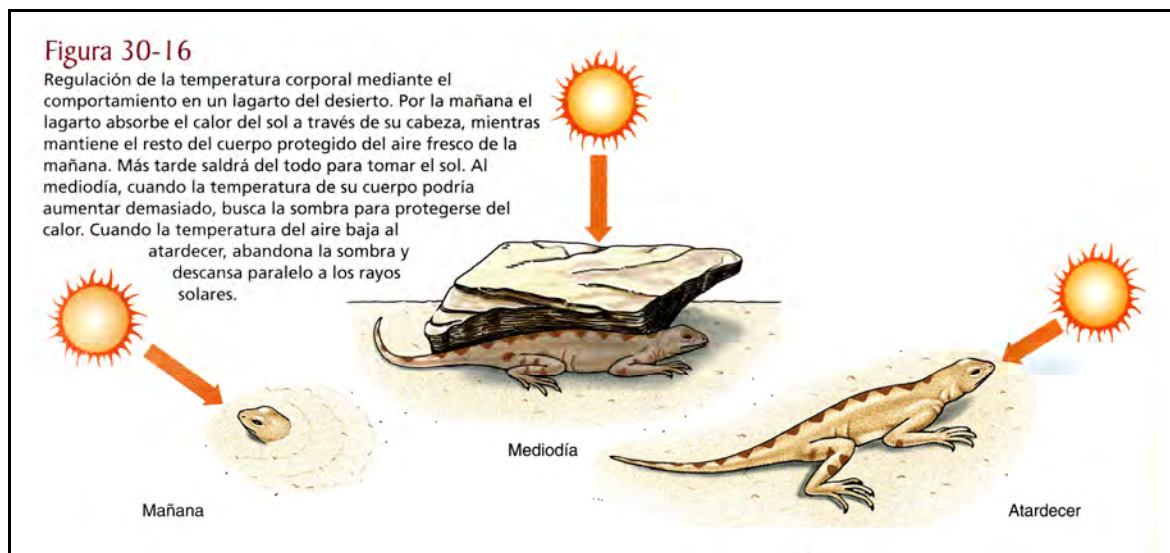


Figura 158: Figura que de una forma estricta podría catalogarse como diagrama debido a la relación establecida mediante flechas entre dos elementos representados (sol y lagarto) (Tomado de Hickman et al., 2006).

¿Qué tipo de imagen es la que resulta de tal combinación? ¿En qué momento podemos afirmar que ésta pasa a ser un diagrama? Por si fuera poco, existen numerosos casos en los que las relaciones entre objetos se establecen en un entorno concreto representado mediante una ilustración, tomando a primera vista el aspecto de ésta (Figura 159).

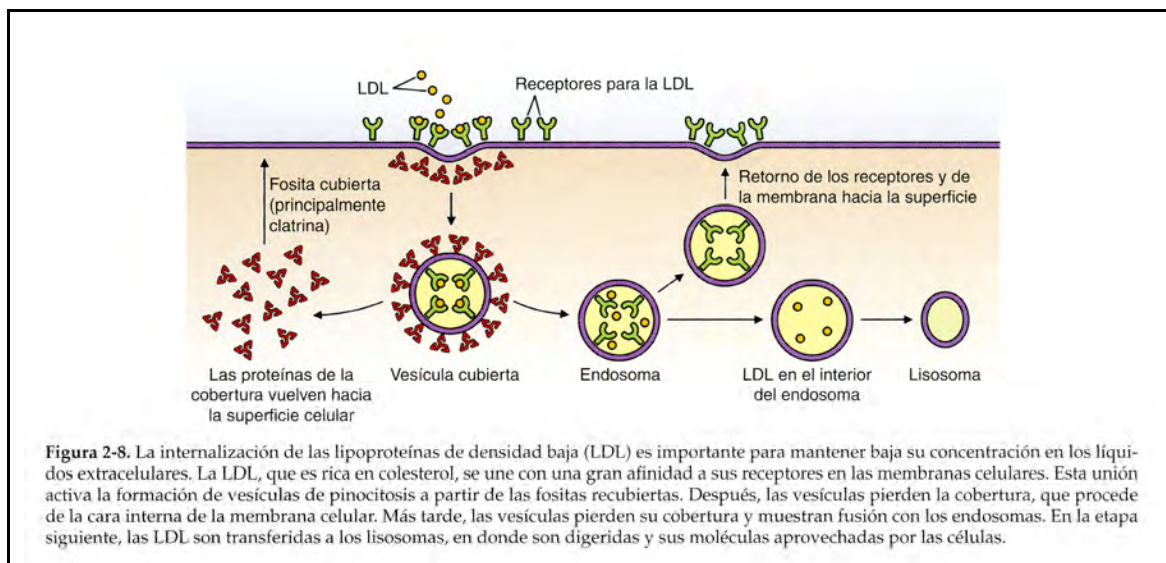


Figura 159: Diagrama creado en un entorno concreto (citoplasma celular) (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).

Podría considerarse como diagrama toda aquella imagen en la que se establece algún tipo de relación entre elementos mediante flechas, pero resulta que existen casos de diagramas sin flechas en los que la relación se establece por la posición relativa de los diferentes elementos. Si, en lugar del aspecto físico de la imagen y sus componentes, centramos la atención en la existencia o no de relaciones entre los elementos, habría que tener en cuenta que en toda ilustración convencional existen este tipo de relaciones, y no sólo morfológicas. Así, lo habitual es que las ilustraciones estén rotuladas, ¿y no sería acaso ésta una forma de relación entre elementos (el texto y la forma señalada)? Finalmente, si atendemos al tipo de relación,

el problema tampoco parece tener una solución fácil, pues éstas pueden ser extremadamente variables (jerárquica, temporal, espacial, etc.).

Un hecho reseñable es que el carácter híbrido de los gráficos actualmente incorporados a los tratados científicos, dificulta en gran medida la diferenciación entre unos tipos y otros en virtud de sus características físicas, ya que las definiciones ideales de cada uno de ellos (ilustraciones, gráficas, diagramas, tablas) parecen disponerse en los extremos de un espectro continuo, en el cual una infinidad de combinaciones es posible. Por ello, parece más lógico establecer una clasificación basada en el tipo de concepto que se quiere representar (apariencia física, relaciones espaciales, distribución temporal, etc.) y analizar las diferentes formas de describirlo gráficamente. No obstante, el estudio por separado de las diferentes entidades gráficas en condiciones ideales sería igualmente útil ya que éste permite establecer las normas básicas para su uso.

En cuanto a los tipos de diagramas encontrados, el modelo más frecuente, con enorme diferencia, es el que emplea flechas para establecer las conexiones y sustituye los tradicionales nodos en forma de cajas con texto por ilustraciones de tipo generalmente esquemático (ver Figura 123, en página 284). En ocasiones, alguno de los nodos está constituido por un bloque de texto pero sin que sea visible el marco del cuadro de texto. Es también notable la gran variedad de significados que adquieren las conexiones en los diagramas científicos, pudiendo indicar movimiento, reacción química, temporalidad, jerarquía, diferentes tipos de acción de un elemento sobre otro, etc.

2 ESTUDIO II: ANÁLISIS DE LAS ILUSTRACIONES VINCULADAS A GRÁFICAS CIENTÍFICAS

2.1 JUSTIFICACIÓN

La ilustración científica se encuentra en constante desarrollo. Uno de los aspectos en los que ésta se ha centrado en las últimas décadas es la creación de esquemas claros que puedan describir procesos complejos. Para ello, se han elaborado gráficos cada vez más sofisticados en los que se utilizan diferentes estrategias para transmitir la información con la máxima eficacia posible. Una de dichas tácticas consiste en la inclusión de ilustraciones en las gráficas científicas. Esta estrategia es similar a la empleada en la creación de diagramas de flujo, en los que es normal ver los tradicionales cuadros de texto sustituidos por imágenes simbólicas unidas mediante diferentes tipos de conectores (este asunto ya ha sido analizado en el Estudio I). Por otra parte, hay que resaltar que no siempre estos recursos parecen incidir positivamente en la transmisión de conocimientos científicos. Por este motivo, resulta necesario determinar cuáles son las posibles indicaciones para su inclusión en las gráficas, así como las características que deben poseer dichas ilustraciones para asegurar en la mayoría de los casos la correcta interpretación de la figura que las contiene. Un primer paso en este sentido es analizar los rasgos que poseen las que actualmente se están utilizando en tratados científicos y compararlas con las correspondientes a las ilustraciones que se presentan de forma aislada. Además, resulta necesario valorar la función que dichas ilustraciones realizan en relación con las gráficas en las que se integran, ya que de esa manera se podría comprender mejor el papel que habitualmente desarrollan y las ventajas o desventajas que supone su inclusión en la figura.

Por estos motivos, se ha realizado este estudio específico de las ilustraciones vinculadas a gráficas científicas para analizar sus características particulares y compararlas con las de los tipos de figura ya valorados en el Estudio I (ilustraciones aisladas e incorporadas en diagramas). Por otro lado, se han analizado específicamente las funciones que estas ilustraciones ejercen en relación con las gráficas para determinar las posibles aplicaciones prácticas que éstas poseen.

2.2 OBJETIVOS

Analizar las ilustraciones incorporadas en gráficas y tablas existentes en los principales textos utilizados para la enseñanza de materias científicas con el fin de determinar:

- Cuál es la función que cumplen dichas ilustraciones en las gráficas analizadas.
- Las características de las imágenes incorporadas en gráficas científicas y compararlas con aquellas que poseen las ilustraciones aisladas y las incorporadas en diagramas.

2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO

El estudio se realizó sobre una extensa muestra de 99 figuras que se seleccionaron según los criterios que se detallan a continuación.

Selección de las publicaciones, estudios, materias y tratados

Esta selección fue exactamente la misma que la empleada para el estudio anterior. Por tanto, se utilizaron aquellos tratados científicos sobre materias que se imparten en los primeros dos cursos de las licenciaturas de Medicina, Biología y Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid que habían sido prestados con mayor frecuencia en 2008 en las bibliotecas de sus respectivas facultades. Se eligieron los tres tratados más prestados de cada materia, descartándose aquellos cuya última edición superaba los 10 años de antigüedad (ediciones anteriores a 1999). Los libros seleccionados pueden consultarse en la Tabla 5.

Selección de las imágenes

Se realizó un primer análisis de todas las figuras presentes en cada texto (6044 imágenes en total) con el fin de seleccionar aquellas que contenían ilustraciones vinculadas a gráficas (99 figuras).

2.3.2 DATOS REGISTRADOS

Se analizaron todas las ilustraciones previamente seleccionadas y se anotó en una base de datos informática creada mediante Microsoft Access 2007[®] cuál era la **función** que desempeñaba cada una de ellas.

Asimismo, se registraron en la misma base de datos los distintos **recursos gráficos empleados** en cada una de las imágenes con el fin de poder comparar los que habían sido utilizados en cada tipo de imagen según las funciones previamente identificadas.

2.3.3 ANÁLISIS DE DATOS

En primer lugar, se calculó para cada tratado el número de ilustraciones y el número de ilustraciones vinculadas a gráficas. Por otra parte, se halló el porcentaje de ilustraciones incorporadas en gráficas en relación con el total de figuras de cada tratado.

Posteriormente se creó una tabla en la que se enumeraban las funciones desarrolladas por cada ilustración en la gráfica en que estaban integradas, analizando cuáles eran las más frecuentes y agrupando aquellas que eran equivalentes.

Se realizó una comparación de los recursos gráficos empleados en cada uno de los grupos analizados en ambos estudios (ilustraciones aisladas e incorporadas a diagramas frente a ilustraciones vinculadas a gráficas).

2.4 RESULTADOS

Se han localizado un total de 6044 figuras en los tratados analizados, de las cuales 472 eran gráficas (7,8% de todas las figuras). De ellas, 99 incluían algún tipo de ilustración (20,9% de todas las gráficas). A continuación se muestran los resultados obtenidos tras estudiar las características específicas de las ilustraciones incluidas en gráficas y analizar tanto la función que ejercían en ellas como los recursos empleados para su elaboración.

2.4.1 TIPOS DE ILUSTRACIONES VINCULADAS A GRÁFICAS

Se han identificado cinco tipos de imagen dependiendo de la relación existente entre la ilustración y la gráfica. El más frecuente de ellos lo constituían ilustraciones que describían el aspecto de una determinada estructura anatómica en diferentes

situaciones fisiológicas, patológicas o experimentales, correspondiéndose éstas con las diferentes áreas de la gráfica (Figura 160). En este caso, las imágenes estaban constituidas, o bien por una secuencia de imágenes estáticas, o bien por una imagen de la estructura analizada que de forma artificial representaba cada uno de los estados descritos en diferentes regiones de la misma. No se encontró ningún ejemplo en el que la figura permitiera relacionar de forma continuada todos los posibles valores de la curva con la morfología del elemento analizado.

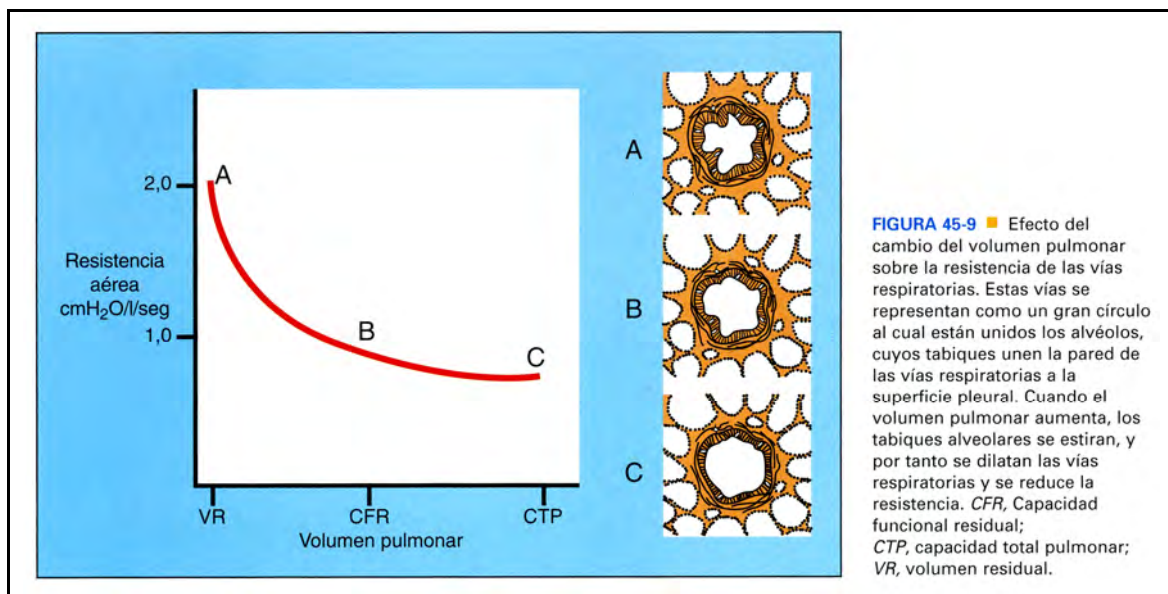


Figura 160: Gráfica acompañada de ilustración que describe en forma de secuencia diferentes estados fisiológicos relacionados con determinados valores de la curva (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

El segundo tipo de imagen estaba formado por ilustraciones que representaban el aspecto normal de los elementos analizados en la gráfica (Figura 161 y Figura 162). En ningún caso la apariencia de la estructura descrita estaba relacionada con los valores mostrados en la gráfica.

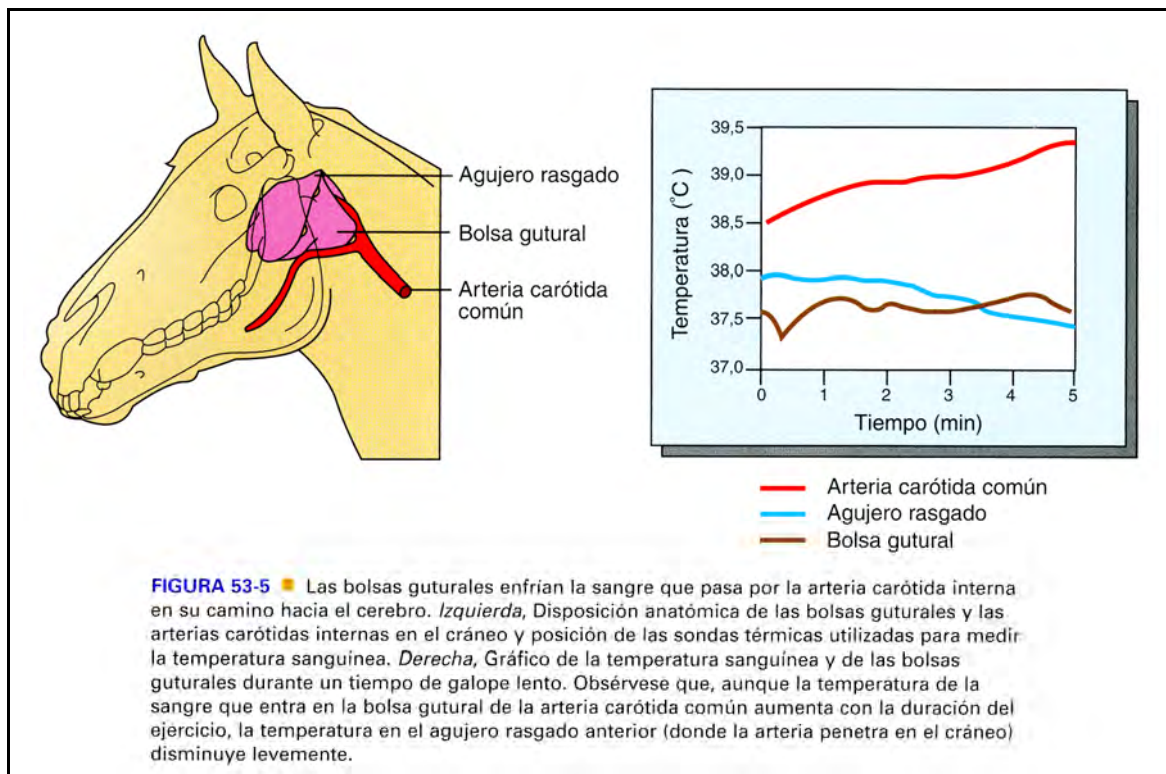


Figura 161: Gráfica acompañada de una ilustración que muestra las estructuras anatómicas en las que se mide una determinada variable (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

En tercer lugar se identificaron una serie de figuras en las que la ilustración describía el aparato o el procedimiento de medida utilizado para registrar la variable analizada en la gráfica (Figura 163). En algunos casos, como en el del ejemplo que se muestra en la Figura 163, se podía intuir una relación entre los valores de la gráfica y diferentes estados sugeridos por la ilustración y por el texto acompañante. No obstante, lo normal fue encontrar ilustraciones que mostraban el procedimiento de medición en un momento concreto, por lo que no permitían comparar las distintas fases del mismo con los valores de la gráfica.

En cuarto lugar se encontraron ilustraciones que servían para ubicar anatómicamente, como en un mapa, las distintas regiones en las que se registraba una determinada variable, con el fin de mostrar las diferencias entre ellas (Figura 164).

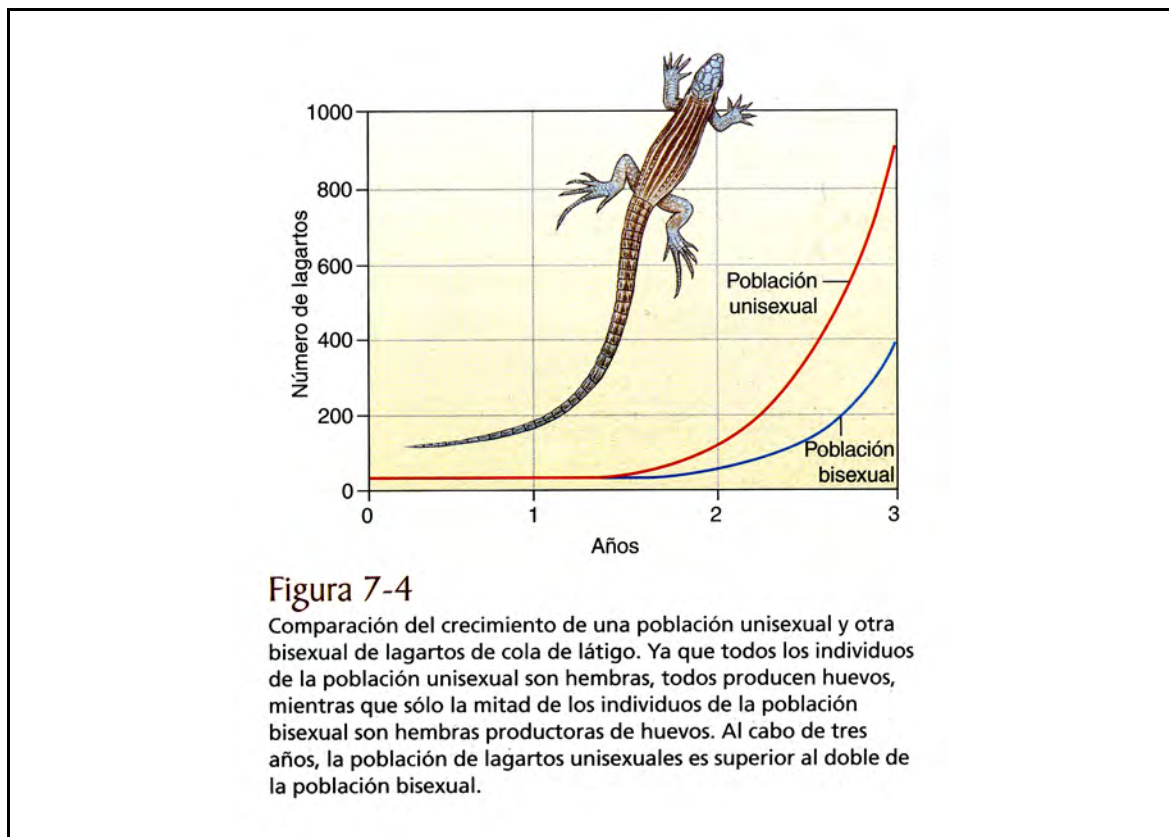


Figura 162: Gráfica en la que una ilustración representa el animal que va a ser objeto de análisis en la gráfica. No centra totalmente el asunto tratado en ésta pero ofrece una aproximación temática al mismo (Tomado de Hickman et al., 2006).

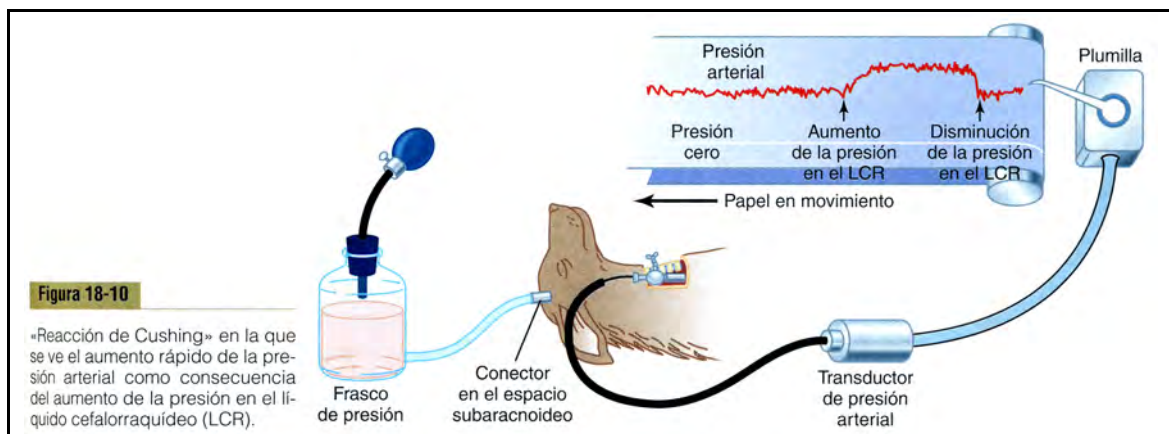


Figura 163: Gráfica acompañada de una ilustración que explica un procedimiento experimental y sus efectos sobre la variable registrada (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

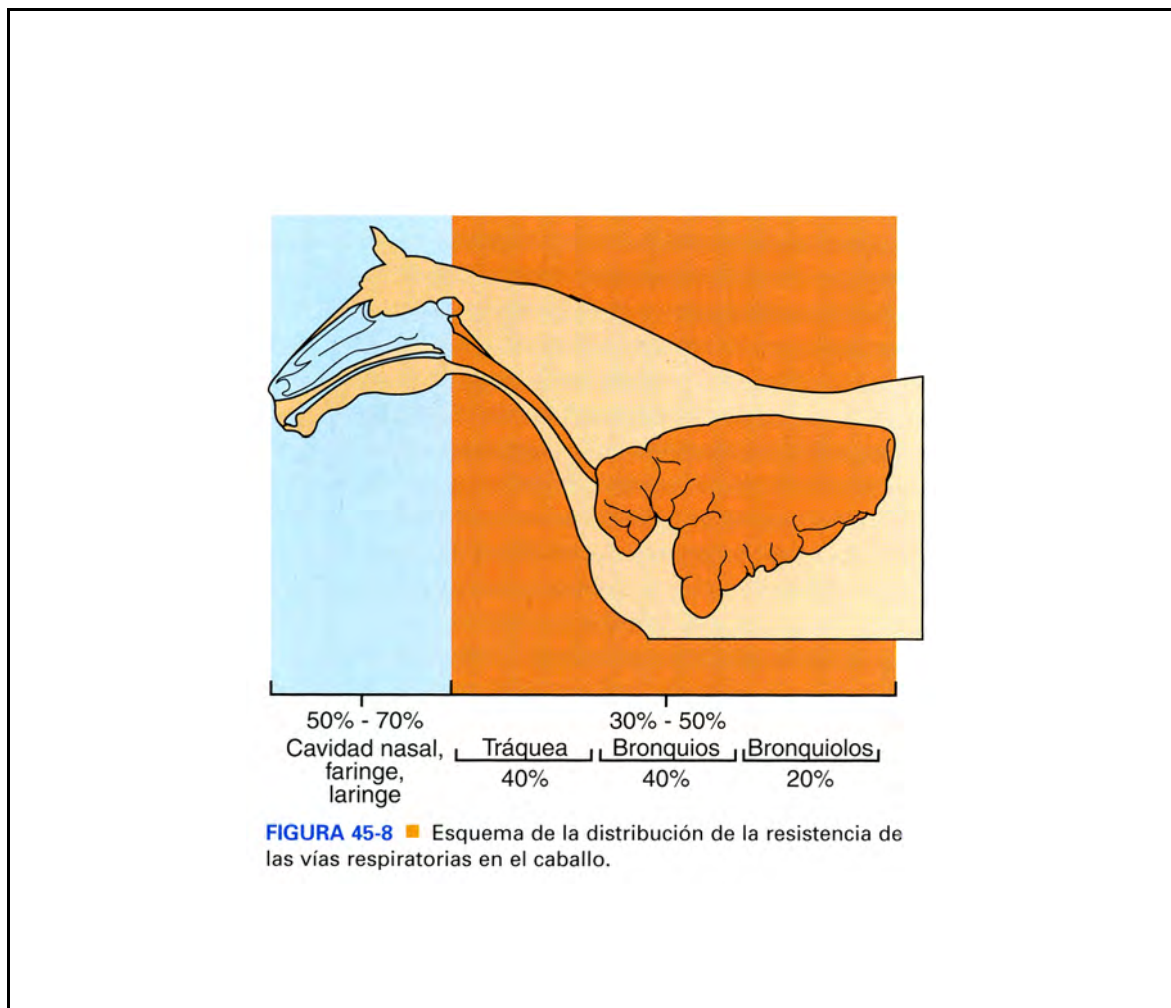


Figura 164: Gráfica con ilustración integrada que muestra la distribución topográfica de una determinada variable (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

En quinto lugar se hallaron gráficas en las que las ilustraciones representaban ciertos grupos de valores atribuidos a un determinado elemento (órgano, especie animal, etc.) (Figura 165).

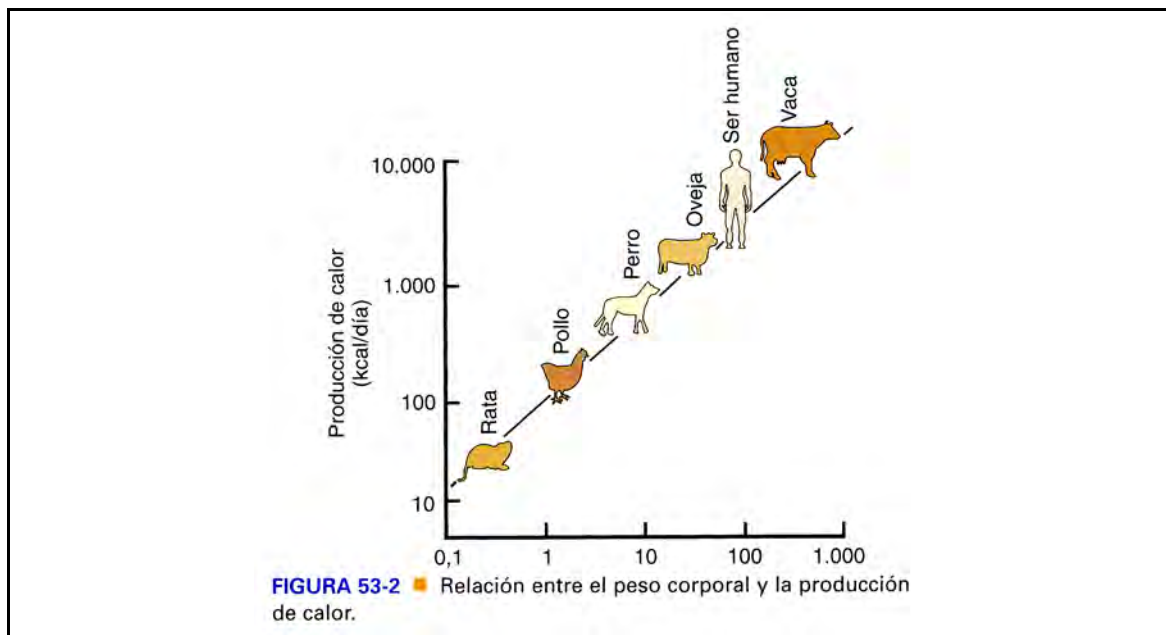


Figura 165: Gráfica con ilustraciones integradas que indica la relación entre determinados valores de la curva y los elementos simbolizados por éstas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ILUSTRACIONES VINCULADAS A GRÁFICAS

Se estudiaron por separado aquellas ilustraciones que acompañaban a las gráficas (Figura 163), aquellas en las que el dibujo estaba insertado dentro de la propia gráfica (Figura 165) y aquellas en las que la gráfica estaba constituida por una ilustración (Figura 166). En los tres tipos, los dibujos fueron de carácter esquemático en el 100% de los casos, aunque se apreciaron diferencias significativas en el grado de esquematización, siendo muy superior en las imágenes que estaban integradas en las gráficas. Éstas con frecuencia estaban constituidas por una silueta más o menos aproximada, rellena de color plano y rodeada de una línea de contorno sin ningún tipo de separación de las formas interiores, sin textura material (aquella que refleja el aspecto de los materiales que forman el modelo) ni tan siquiera textura modeladora (rayado o punteado que reproduce el aspecto volumétrico del modelo) (Figura 167).

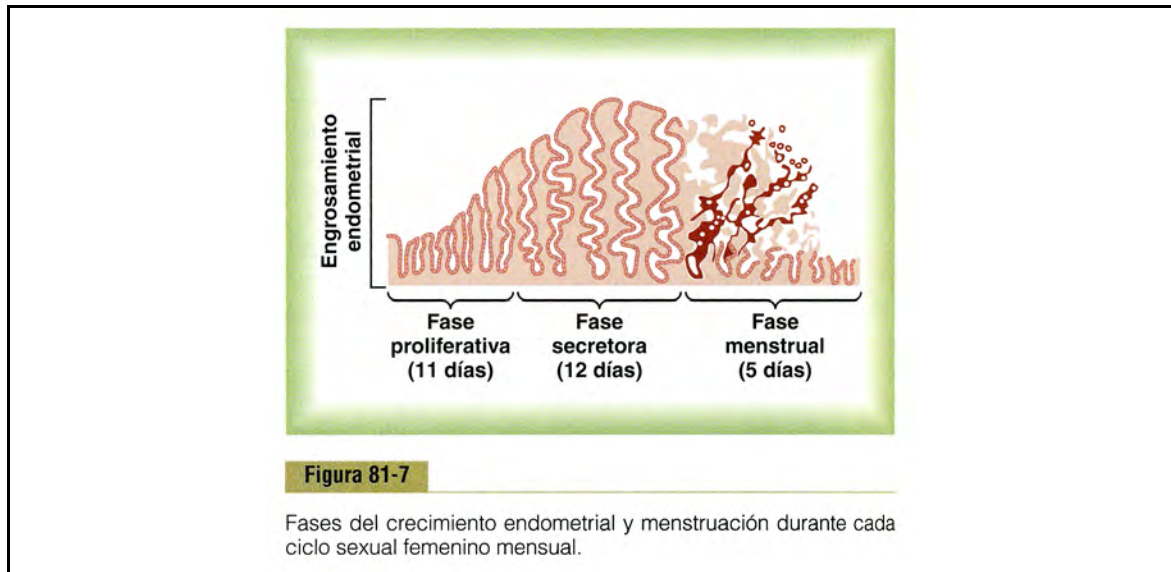


Figura 166: Gráfica constituida por una ilustración que indica varios parámetros a la vez (espesor endometrial, anfractuosidad glandular y desintegración durante la menstruación) (Tomado de Guyton y Hall, 2006).

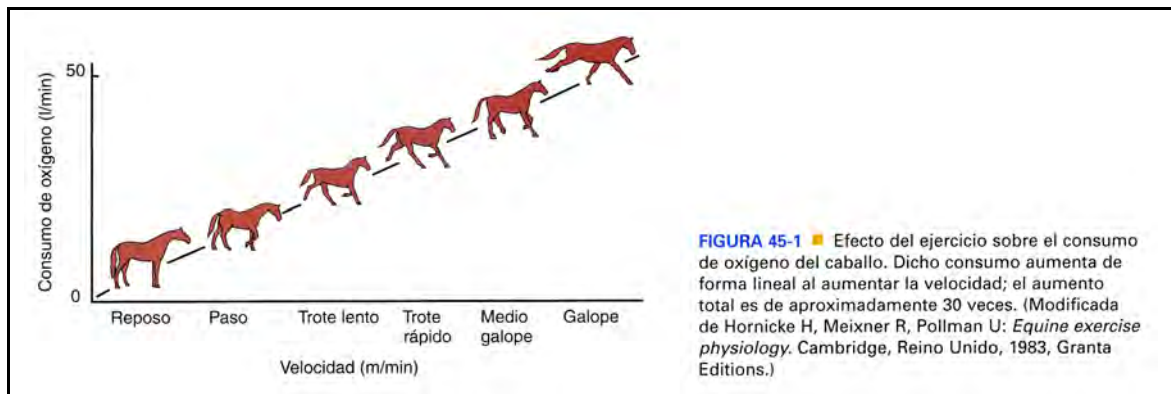


Figura 167: Gráfica con ilustraciones integradas con alto grado de esquematismo (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).

Las imágenes situadas junto a las gráficas y las que sustituían a la gráfica demostraron gozar de un mayor protagonismo y poseer una mayor riqueza de recursos. En estos casos el aspecto de las imágenes fue muy similar al de las ilustraciones aisladas de carácter esquemático. En ellas, por ejemplo, se encontró con

relativa frecuencia color degradado y textura material. No obstante, la mayor parte de las veces en que aparecía dicha textura era algo grosera y en ninguna de las imágenes se describió la figura representada como fiel al modelo (Figura 163).

Otras características diferenciadoras entre estos tres tipos de ilustraciones fueron la ausencia de rotulación prácticamente en la totalidad de las que estaban integradas en las gráficas, apareciendo únicamente en las que acompañaban a éstas o en las que las sustituían, aunque siempre con menor frecuencia que en las ilustraciones aisladas y con menor número de rótulos por imagen. Otro dato característico fue la mayor frecuencia de uso de referencias numéricas o alfabéticas en las ilustraciones que acompañan a las gráficas frente a las integradas en éstas y las que constituyen por sí mismas la gráfica. También fue más habitual este tipo de referencia en imágenes situadas junto a las gráficas que en las aisladas. Por otra parte, fue inusual encontrar en las ilustraciones integradas en las gráficas otros elementos complementarios, como las flechas, que estableciesen relaciones entre las diferentes partes de la ilustración o que reflejasen secuencias temporales para mostrar procesos de transformación, movimiento, etc. No obstante, estos sí fueron relativamente frecuentes en las ilustraciones que acompañaban a las gráficas. En algunos casos, su complejidad fue elevada, aunque sin llegar a la de las ilustraciones aisladas. Se encontraron algunos ejemplos que destacaron por la creatividad con que se relacionaron distintas gráficas e ilustraciones en una sola figura (Figura 168).

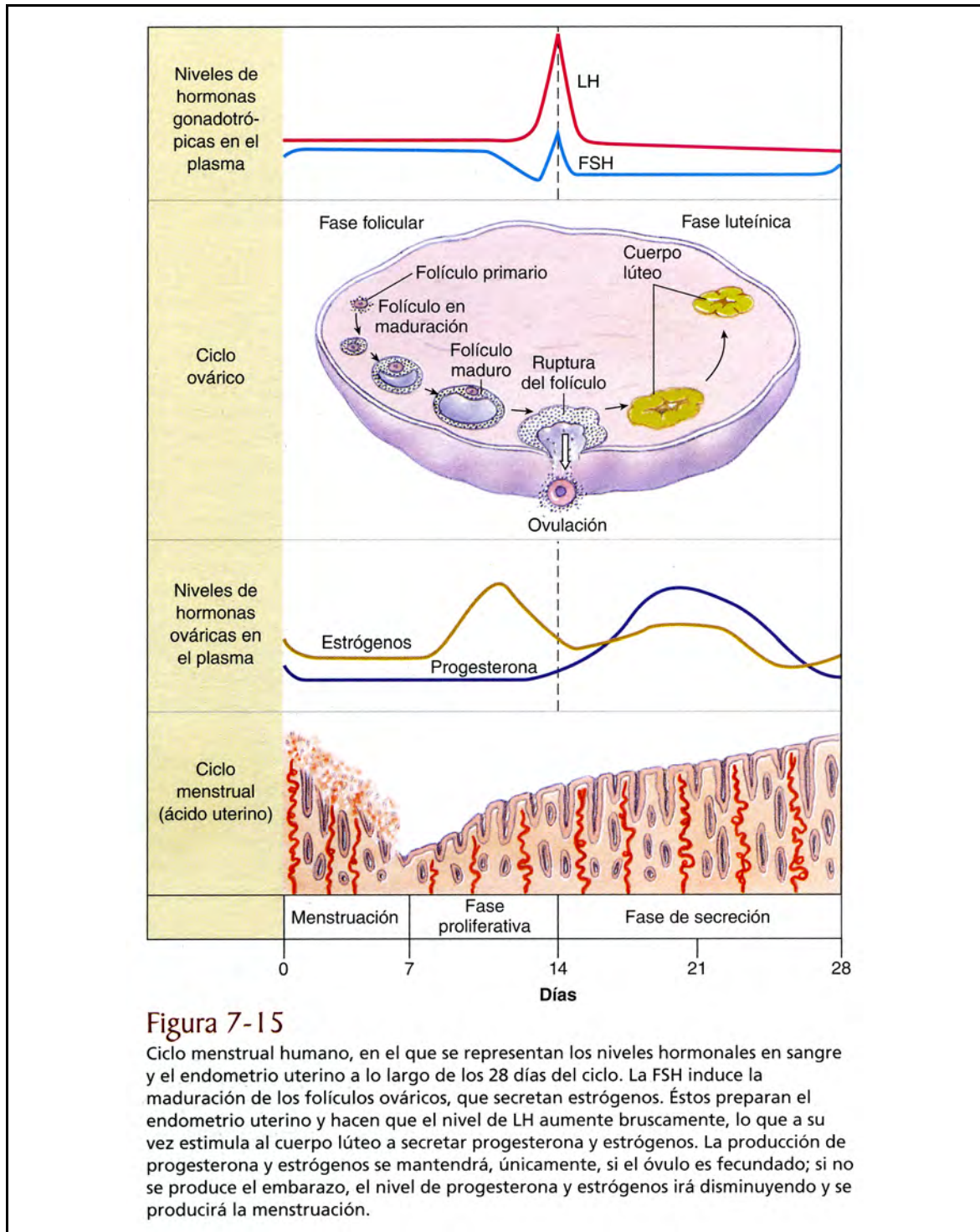


Figura 7-15

Ciclo menstrual humano, en el que se representan los niveles hormonales en sangre y el endometrio uterino a lo largo de los 28 días del ciclo. La FSH induce la maduración de los folículos ováricos, que secretan estrógenos. Éstos preparan el endometrio uterino y hacen que el nivel de LH aumente bruscamente, lo que a su vez estimula al cuerpo lúteo a secretar progesterona y estrógenos. La producción de progesterona y estrógenos se mantendrá, únicamente, si el óvulo es fecundado; si no se produce el embarazo, el nivel de progesterona y estrógenos irá disminuyendo y se producirá la menstruación.

Figura 168: Relación gráfica de fenómenos que tienen lugar de manera sincrónica. Las dos ilustraciones vinculadas a las gráficas muestran el aspecto morfológico de diferentes estructuras anatómicas correspondiente a cada estado de secreción hormonal (Tomado de Hickman et al., 2006).

2.5 CONCLUSIONES DEL ESTUDIO II

A continuación se exponen las conclusiones específicas del Estudio II. Éstas serán complementadas con las conclusiones generales de la tesis que pueden consultarse en la página 351.

En el estudio que ahora nos ocupa, en primer lugar se ha constatado que un porcentaje relativamente importante de las gráficas incorporadas en los textos científicos están vinculadas a ilustraciones. Estas últimas cumplen diferentes papeles, siendo el más frecuente el de aportar una descripción morfológica, fisiológica o patológica de las estructuras relacionadas con las variables que aparecen en las gráficas o de los aparatos y procedimientos de medida empleados para obtener los valores representados.

En las ilustraciones que describen morfológicamente el elemento con el que está relacionada la gráfica (Figura 161 y Figura 162), existen diferentes niveles de acercamiento al tema representado por ésta. Así, podemos encontrar ilustraciones en las que se muestra, por ejemplo, al animal sobre el cual se realizan las mediciones. En estos casos, la ilustración sólo centra de forma relativa el tema tratado y tiene fundamentalmente una función de reconocimiento de la materia general abordada. En otras ocasiones, se representa la estructura concreta sobre la cual son medidas las variables consideradas en la gráfica, quedando el tema centrado de forma más específica. Esta modalidad ofrece en mayor o menor medida información morfológica, que puede servir tanto para reconocer la materia tratada como para detallar algunos aspectos estructurales menos conocidos, en cuyo caso suelen añadirse rótulos para señalar las partes.

En cuanto a las ilustraciones que contienen información acerca de algún aspecto fisiológico o patológico del modelo considerado en la gráfica (Figura 160), éstas sirven igualmente para reconocer el animal, órgano, tejido o célula específico que va a ser valorado, pero además, explican gráficamente alguna característica morfológica que se modifica en ellos en situaciones concretas. Éstas se utilizan para mostrar la relación entre los valores de las variables analizadas y el aspecto morfológico del elemento objeto de medición que se corresponde con dichos valores

En aquellos casos en los que la gráfica va acompañada de una ilustración que describe un procedimiento de análisis, diagnóstico o tratamiento, pueden existir intenciones diferentes. En primer lugar, pueden servir simplemente para reconocer la materia tratada en la gráfica. En segundo lugar, pueden servir para describir un procedimiento poco conocido, en cuyo caso la ilustración suele ir directamente acompañada de rótulos o de algún texto explicativo. Finalmente, puede representarse el efecto que tiene en los valores de la gráfica la actuación sobre alguno de los aparatos empleados (Figura 163).

En las gráficas empleadas para mostrar la distribución geográfica de una variable (gráfico de tipo mapa), es posible considerar también una función descriptiva morfológica (especialmente cuando la imagen está rotulada) y otra de reconocimiento de la materia tratada.

Finalmente, en el último tipo de gráficas identificado, las ilustraciones sirven como hitos reconocibles visualmente para relacionar un valor concreto de la variable o variables representadas con un determinado elemento.

Por otra parte, de los datos obtenidos se desprende que en términos generales, las imágenes vinculadas a las gráficas poseen unas características diferenciadas de

las que aparecen de manera aislada. Esto afecta principalmente al grado de esquematismo, siendo más elevado en términos generales en las ilustraciones vinculadas a gráficas y especialmente en el grupo de imágenes incorporadas dentro de ellas. Además, hay que destacar la menor utilización de elementos gráficos complementarios como flechas, líneas, llaves, etc., para la indicación de acciones en este grupo y la casi total ausencia de recursos destinados a la introducción de descripciones mediante texto (rótulos, leyendas, referencias al pie de la figura).

Pese a la mayor sencillez de las imágenes vinculadas a gráficas, se ha comprobado que es posible generar sofisticadas estrategias para la transmisión de conocimientos mediante una adecuada interacción entre ambos elementos. Así, se han encontrado diversos ejemplos en los que una combinación creativa de gráficas, imágenes y texto han servido para resumir con eficacia fenómenos bastante complejos (ver Figura 168 en página 346). En estas figuras la variable común que servía de conexión entre ilustraciones y gráficas solía ser el tiempo. Así, mientras que las gráficas mostraban la evolución temporal de fenómenos descritos mediante variables cuantitativas, las ilustraciones solían representar cambios morfológicos que acontecían en ese mismo periodo de tiempo, lo que permitía comparar ambos. Lamentablemente, este tipo de figuras es aún escaso, por lo que parece aconsejable seguir profundizando en el futuro en su análisis mediante estudios específicos. Esto permitiría lograr un mayor conocimiento de sus características y posibilidades, lo que sería de gran utilidad para la formación de los ilustradores científicos acerca de la creación de figuras de alta capacidad informativa y didáctica.

CONCLUSIONES DE LA TESIS

CONCLUSIONES DE LA TESIS

A continuación se exponen las conclusiones generales a las que se ha llegado a partir del trabajo completo desarrollado en esta tesis. Las conclusiones específicas de cada uno de los dos estudios realizados pueden consultarse en las páginas 325 y 347 respectivamente.

1 CONCEPTOS IDENTIFICADOS Y COMBINACIONES DE RECURSOS GRÁFICOS PARA SU REPRESENTACIÓN

En primer lugar hay que resaltar la **amplia gama de conceptos identificados en las 3894 imágenes que formaban la muestra analizada en el Estudio I**. Estos se designaron mediante 43 términos distintos, que en la mayoría de los casos incluían diferentes modalidades, y que tras un intenso trabajo clasificatorio fueron finalmente agrupados en las 13 categorías que figuran en la Tabla 7 (página 242). Dada la dimensión de la muestra examinada y la exhaustividad del análisis llevado a cabo, es posible afirmar que esta clasificación incluye la práctica totalidad de los conceptos que actualmente son representados gráficamente en las materias científicas estudiadas. Esto posee un gran interés para la ilustración científica, puesto que permite establecer un repertorio de nociones habitualmente tratadas en el estudio de los seres vivos para las cuales se podrían consensuar unas pautas concretas de representación.

Por otra parte, resulta sorprendente la **enorme cantidad de combinaciones de recursos halladas**, que en algunos casos supera las 40 variantes (ver la Figura 130 en página 294). Esto indica que en la mayor parte de los casos, aunque existe una cierta similitud en el modelo de representación utilizado, no existe un consenso claro que unifique la forma de expresión de los diferentes conceptos con el fin de evitar

ambigüedades y mejorar la efectividad de la comunicación científica. **Parece pues necesario dotar a los ilustradores de unas pautas de referencia para la elaboración de ilustraciones** que tengan en cuenta las variantes actualmente consolidadas por el uso repetido o por consenso y también los últimos hallazgos de investigaciones acerca de la percepción visual. **Para ello sería conveniente un consenso entre asociaciones de ilustradores, asociaciones de científicos y editoriales, tal como existe en otras disciplinas científicas o técnicas.**

De cara al citado consenso, resulta imprescindible establecer cuáles son los métodos de representación de conceptos habituales en las correspondientes materias científicas. Asimismo, **es preciso identificar aquellas combinaciones de recursos gráficos que se han consolidado debido a su uso continuado.** Por este motivo estudios como los presentados en esta tesis tienen una importancia capital de cara al establecimiento de unas normas de expresión gráfica de nociones científicas. En relación con este asunto, a partir de los resultados obtenidos en el Estudio I (página 235) se ha podido comprobar la existencia de determinados recursos gráficos que destacan claramente por su frecuencia de utilización en la representación de un determinado concepto. Así, es posible establecer combinaciones de ellos que posean un carácter prototípico para la expresión de una idea concreta. Esto es precisamente lo que se ha hecho en el apartado de “Combinaciones de los recursos más prevalentes”, perteneciente al Estudio I de esta tesis (página 323), en el cual, **la Figura 157 muestra una serie de ilustraciones esquemáticas de conceptos que integran aquellos recursos gráficos que han destacado especialmente por su prevalencia.** En ella se sintetizan las formas de representación más consolidadas para una tercera parte de todos los conceptos identificados, por lo que puede tener

una importancia notable de cara al establecimiento de un acuerdo para la expresión gráfica de ideas en las materias analizadas.

A la hora de establecer unas pautas de representación, será también **importante analizar otros medios de expresión gráfica en busca de signos que pudieran ser de utilidad**, dado que se ha constatado una notable escasez de recursos provenientes de otros ámbitos de la imagen.

2 IMPORTANCIA DE LAS TEORÍAS DE LA PERCEPCIÓN PARA LA REPRESENTACIÓN DE CONCEPTOS EN ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA

Durante el análisis de las imágenes de la muestra considerada se ha comprobado la utilización frecuente de recursos basados en las teorías de la percepción descritas en la página 61, o al menos relacionados con estas. Se demuestra así la importancia que posee el conocimiento de dichos principios perceptuales para la elaboración de imágenes científicas.

A continuación se comentan algunos de los aspectos más significativos de las imágenes analizadas en relación con las principales leyes de percepción.

2.1 TÉCNICAS DE REPRESENTACIÓN RELACIONADAS CON LA ORGANIZACIÓN DE LA PERCEPCIÓN

En primer lugar, el **principio de similitud o semejanza** se emplea con el fin de establecer series temporales, especialmente procesos de transformación en los cuales la secuencia de acontecimientos puede seguirse, entre otras cosas, gracias a la similitud que existe entre cada paso y el siguiente. Por otra parte, este mismo principio

se utiliza para la diferenciación de elementos, siendo especialmente útil en aquellos casos en los que la complejidad de la imagen y el alto número de elementos participantes hacen difícil otro tipo de distinción mediante, por ejemplo, rótulos o leyendas.

El **principio de la buena continuación** es empleado fundamentalmente con finalidad descriptiva, siendo especialmente útil en la representación de estructuras intrincadas, en las que la unidad de los diferentes segmentos se mantiene gracias a que cuando estos son interrumpidos se enlazan mentalmente con los siguientes gracias a su disposición. Igualmente en series temporales, especialmente las que tienen una disposición cíclica, este principio demuestra ser útil para enlazar unos elementos con otros.

En cuanto a la **ley de la proximidad o cercanía**, ésta tiene una influencia significativa nuevamente en el establecimiento de series temporales. La asociación de estadios consecutivos se ve claramente favorecida al representarse unos junto a otros, lo que permite distribuir mentalmente la secuencia en filas o columnas y adecuadamente.

El **principio de cierre** se ve principalmente involucrado en los procesos de descripción morfológica de estructuras orgánicas. Fundamentalmente participa en la definición del contorno de formas incompletamente trazadas debido a su unión no angulosa con otra estructura a la que se encuentran adheridas (Figura 128).

La **ley de significación o familiaridad**, además de facilitar lógicamente el reconocimiento de objetos representados ya conocidos, permite crear asociaciones aprovechando significantes propios de ámbitos no científicos o de ciencias diferentes a las que estudian los seres vivos, pero que son conocidos previamente por el lector

debido a su uso extendido en la sociedad. Así, por ejemplo, se utilizan los símbolos "+" y "-" para representar la estimulación y la inhibición respectivamente de un proceso. Igualmente se emplean triángulos verdes similares a los del botón de reproducción de aparatos de música para sugerir estimulación y aspas de color rojo como las utilizadas en señalética para indicar inhibición (Figura 88).

Los **principios de región común y de conexión** se emplean de manera conjunta en la elaboración de diagramas de flujo, en los cuales diferentes formas cerradas actúan como nodos que son enlazados visualmente mediante conexiones en forma de flecha o de línea. El principio de región común opera en cualquier imagen con marco explícito, ya que aísla los elementos representados en ella del resto de elementos de la página. Además, este principio se emplea con el fin de crear grupos de elementos y diferenciarlos de otros.

La **organización de la forma a partir de la iluminación** se tiene en cuenta de forma seguramente intuitiva en la elaboración de las ilustraciones analizadas. Así, todas ellas muestran un esquema de iluminación con el foco principal orientado de arriba hacia abajo, lo que confiere un aspecto natural a los modelos representados. No se encuentran casos en los que la iluminación provenga de la parte inferior del modelo.

En cuanto a la **segregación de figura y fondo**, se observan diferentes métodos encaminados a asegurar la diferenciación entre una y otra. Los más frecuentes son el empleo de línea de contorno y la utilización de fondos blancos sin textura que ofrecen un alto contraste con la figura representada. En caso de objetos superpuestos unos sobre otros, la separación espacial de uno y de otro se resalta

especialmente mediante atenuación de la textura o cambio de color, además del habitual cambio de tamaño debido a la distancia.

La **discriminación de los bordes de iluminación y de reflectancia** se ve facilitada por el uso de líneas de contorno, ya que estas indican el límite de las formas pero sin embargo no aparecen rodeando a las sombras proyectadas, por lo que sirven de ayuda para diferenciar unas de otras. Esta diferenciación se ve notablemente facilitada por el uso de degradados de color en las sombras, especialmente en la zona de tránsito hacia una zona iluminada.

2.2 REPRESENTACIÓN DEL ESPACIO

La **oclusión o traslapo** es uno de los recursos generadores de profundidad más utilizados. Sin embargo, resulta llamativa la escasa utilización de **líneas de horizonte** con el fin de generar sensación de profundidad. Esto de nuevo es debido a que la mayoría de los modelos representados están situados sobre un fondo blanco, por lo que es posible afirmar que la mayor parte de las ilustraciones analizadas se caracterizan por poseer una escasa profundidad, generalmente limitada al volumen de los modelos representados.

En cuanto al uso de **sombras proyectadas**, de nuevo hay que señalar su carencia relativa debido a que solamente en raras ocasiones se representan unos objetos superpuestos sobre otros y a que tampoco es frecuente la proyección de sombras entre objetos próximos.

De nuevo el **tamaño relativo** es un recurso empleado con poca frecuencia debido al aislamiento ya comentado de los elementos representados. No obstante, en algunos casos se utilizan representaciones en perspectiva que se benefician de este

fenómeno. Sin embargo, en una importante proporción de los casos en los que se representa profundidad espacial se hace mediante una perspectiva caballera, rehusando por tanto aprovechar el cambio de tamaño como forma de crear una sensación de profundidad.

Aunque tradicionalmente se utiliza la colocación de un objeto de tamaño conocido junto al modelo con el fin de mostrar su escala, no se ha encontrado ningún caso en las ilustraciones analizadas en el que se haya aprovechado el **tamaño familiar** de un objeto para indicar el de otro desconocido.

En cuanto a la **perspectiva atmosférica**, tampoco se utiliza para sugerir profundidad, ni siquiera en las ilustraciones en las que se representan modelos en su entorno natural. Esto puede deberse a que la necesidad de describir correctamente las formas y colores de los objetos está por encima de la descripción del espacio, que, por otra parte ya queda suficientemente explicado por otros medios, como el tamaño relativo o el empleo de algún tipo de perspectiva.

La **perspectiva lineal** se emplea en muy pocas ocasiones en las imágenes estudiadas y fundamentalmente para la representación de elementos en los que predomina una dimensión sobre las otras, en algunos casos de ampliación (aunque en estos el foco casi siempre era variable de unas partes a otras) y en cortes de terrenos o tejidos.

El **gradiente de textura** se utiliza más para describir el volumen de los modelos representados que para crear sensación de profundidad a través de la superficie de apoyo o de algún otro elemento proyectado hacia el horizonte.

2.3 REPRESENTACIÓN DEL MOVIMIENTO

En este caso ha tenido especial aplicación el conocimiento del movimiento estroboscópico, mediante la repetición del objeto en diferentes posiciones.

También ha sido de interés el principio de conexión entre elementos, actuando las flechas como enlace entre ellos y guiando además la mirada hacia el sentido del movimiento mediante su punta.

2.4 REPRESENTACIÓN DE LA TEMPORALIDAD

Para la representación de la temporalidad han tenido especial utilidad los principios de semejanza y proximidad de la Gestalt, debido a que estos han permitido establecer el sentido de la transformación al conectar visualmente dos o más imágenes diferentes que representaban una secuencia de etapas. Nuevamente, el principio de la conexión entre elementos ha sido también determinante debido al empleo habitual de flechas para la organización de las fases del proceso.

3 EFECTIVIDAD Y CONSISTENCIA DEL MODELO TEÓRICO PROPUESTO

Hay que destacar que **el modelo teórico propuesto se ha mostrado efectivo** en el análisis de recursos empleados para simbolizar los diferentes conceptos reflejados en las figuras estudiadas. El análisis centrado en las formas, tal como han sido definidas en el modelo de análisis propuesto (página 189), ha permitido clasificar los recursos empleados en la representación de cada concepto en virtud de las cualidades de la forma afectadas (figura, color, textura, tamaño, posición y orientación). De esta manera, se ha podido realizar un listado exhaustivo y funcional de los recursos que pueden utilizarse para sugerir una idea concreta (páginas 244-323), lo cual puede ser de utilidad para un ilustrador científico en formación y también como material de consulta para profesionales en ejercicio que buscan diferentes opciones para expresar una determinada noción.

Por otra parte, este trabajo confirma la **consistencia del modelo teórico** propuesto, ya que no se han encontrado incoherencias significativas durante su aplicación práctica. Esto tiene una gran importancia debido a que se trata de uno de los exámenes de imágenes de mayor amplitud realizados a partir de un modelo teórico de análisis de la imagen, lo que le aportaría un fuerte respaldo práctico y garantizaría su fiabilidad de cara a estudios posteriores. Dichos estudios, podrían centrarse no sólo en la ilustración científica, sino también en otras modalidades de obra gráfica, ya que el esquema propuesto se centra en las unidades elementales compartidas por todas ellas. Sería, por tanto, interesante realizar análisis similares aplicados a otros tipos de ilustración (publicitaria, literaria, de humor, editorial, de cómic, etc.) y quizá en menor medida en obras artísticas (pinturas, grabados, dibujos, etc.), para valorar las formas

habituales de expresión de conceptos en dichas disciplinas. Además del interés que pudiera tener este examen para quienes desean aprender a realizar este tipo de imágenes, esta valoración podría permitir la identificación de recursos que pudieran ser de aplicación para la creación de ilustraciones científicas.

4 NECESIDAD DE CONSENSO PARA LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS

Otra conclusión de este trabajo es que, pese a la gran riqueza de recursos gráficos que se encuentran al alcance del ilustrador para expresar diferentes ideas, **la ilustración científica a menudo se presenta como un lenguaje excesivamente restringido**, en el cual únicamente se emplea una pequeña parte de los elementos disponibles. Uno de los ejemplos más significativos lo constituye la representación de movimiento (página 304), prácticamente reducida al uso de flechas, mientras que en otros ámbitos se utilizan múltiples recursos con ese mismo fin. Esto puede deberse a la necesidad de utilizar formas de expresión objetivas y sencillas, que asimismo aporten una sensación de seriedad y rigor, por lo que generalmente se rechazan aquellas que no poseen estas características. El problema es que al reducirse el abanico de recursos, a veces es necesario utilizar un mismo elemento para diferentes aplicaciones, estableciéndose los matices de significado mediante distintas combinaciones de estos. Así, por ejemplo, las flechas, además de ser el principal recurso para representar movimiento, como se acaba de comentar, son también empleadas para expresar temporalidad (página 318), estimulación (página 245), división (página 273), etc. Esta **falta de especificidad en el uso de algunos elementos** muy utilizados en ilustración científica produce frecuentes ambigüedades y obligan en muchos casos a aclarar su significado mediante texto o deducirlo a partir

del contexto (ver un ejemplo de esto en el análisis de recursos para representar “Otras acciones” en página 250). Por si esto fuera poco, se ha comprobado la existencia de importantes discrepancias en numerosas imágenes relacionadas con la forma de expresar algunas nociones, lo que en muchos casos dificultó su comprensión. Por esta razón **resulta fundamental establecer un consenso para la representación de determinados conceptos** de uso constante en los tratados científicos, estableciendo unas normas básicas que reduzcan las situaciones confusas y eviten el empleo abusivo de determinados recursos. Además, deberían determinarse qué combinaciones de recursos gráficos resultan preferibles para su representación, cuáles son aceptables y cuáles no deberían emplearse en ningún caso. En la elaboración de dicho acuerdo deberían participar idealmente tanto las asociaciones de ilustradores, como las sociedades científicas y editoriales, lo que garantizaría un mayor cumplimiento de las normas establecidas.

Además, para establecer con un criterio más objetivo las normas que deben formar parte del citado acuerdo, **sería conveniente la realización de un mayor número de estudios experimentales** en los que se valore la efectividad de las diferentes combinaciones de recursos gráficos de cara a la representación de conceptos concretos. Esta es una cuestión en la que la psicología perceptiva puede ser de gran utilidad. De hecho, a esta disciplina debemos gran parte de los conocimientos que poseemos acerca de nuestro sistema visual. No obstante, **también sería recomendable analizar desde un punto de vista sociológico** la forma en la que determinados símbolos gráficos empleados en un ámbito concreto son incorporados en nuestra memoria y reutilizados en otro entorno diferente, parasitándolo. Un ejemplo sencillo de este fenómeno puede observarse en la Figura 86 (página 246), que muestra los recursos gráficos identificados para representar los

conceptos de estimulación e inhibición. En dicha figura, por un lado, los símbolos “+” y “-“, provienen del ámbito de las matemáticas y, por otro lado, el triángulo verde es utilizado para el botón de reproducción de numerosos dispositivos electrónicos, mientras que el aspa roja es de uso frecuente en señalética. El aprovechamiento de sinergias entre diferentes ámbitos de comunicación icónica puede ser de gran utilidad para facilitar la comprensión de las imágenes en los textos científicos. Ésta es una cuestión importante, ya que la ilustración se nutre también de símbolos que originalmente tuvieron otro uso en nuestra sociedad, y además, los rápidos cambios en las tendencias de uso de determinados símbolos hacen necesaria una adaptación constante. El ilustrador trabaja en un ambiente contaminado por la conciencia colectiva, en el cual es necesario poseer siempre un repertorio actualizado de los símbolos utilizados y de sus usos para no cometer errores que le dejen fuera de lugar y conduzcan al usuario a una mala interpretación de las imágenes que elabora.

Otra conclusión importante a la vista de los resultados del análisis es que actualmente **muchos de los símbolos utilizados en imagen científica tienen un significado específico que no es compartido por otros lenguajes gráficos**. Un ejemplo de esto puede verse en la Figura 89 (página 248), en la cual para un profano resultaría difícil comprender lo representado únicamente por la imagen. Así pues, pese a que la codificación gráfica en la ilustración científica está basada en algunos casos en fenómenos perceptivos, su comprensión intuitiva a menudo es imposible sin un aprendizaje previo. Tanto es así, que la ilustración científica, en relación con el lenguaje gráfico, podría considerarse como una jerga que se comporta de forma similar a como lo hace el lenguaje científico verbal frente a las lenguas naturales. No obstante, parece razonable que los nuevos símbolos gráficos se apoyen en la medida de lo posible en las experiencias visuales compartidas, más que en convencionalismos

arbitrarios, de modo que sean mucho más fáciles de asimilar para los que se están iniciando en el aprendizaje de una materia científica.

Por otra parte, ha quedado de nuevo patente la **excesiva frecuencia con la que se comenten errores en el diseño de ilustraciones y gráficos**, preocupación ya manifestada previamente por otros autores. En ocasiones son erratas accidentales pero otras muchas se deben a que el ilustrador no ha tenido en cuenta alguna de las consideraciones básicas acerca de la composición, generando representaciones equívocas. Lamentablemente es frecuente encontrar figuras en las que un recurso plástico contradice a otro. Además, sigue siendo bastante habitual el uso de formas gráficas discordantes para expresar la misma noción dentro de una misma imagen, lo que resulta muy desorientador. Es por tanto, necesario hacer un esfuerzo aún mayor para elevar las ilustraciones científicas al mismo nivel de rigor de los conocimientos expresados mediante texto. En este sentido, es de vital importancia la adecuada formación de los ilustradores, así como su compenetración con los equipos de científicos con los que colaboran.

5 PAPEL PRESENTE Y FUTURO DE LA ILUSTRACIÓN CIENTÍFICA

A partir del análisis teórico y de los estudios realizados en esta tesis, se han extraído algunas conclusiones en relación con la función que ejercen las ilustraciones y gráficos en el ámbito de la ciencia. Dichas conclusiones se han estructurado para su exposición en tres diferentes apartados. En el primero se analiza el papel de la imagen frente a texto. En el segundo, se habla de la función complementaria de Ilustración y fotografía. Finalmente, en el tercer apartado se hacen algunas consideraciones acerca de la influencia que sobre la Ilustración van a ejercer las nuevas tecnologías y de la

posible vigencia futura de los recursos descritos en los Estudios 1 y 2 de esta tesis para la representación gráfica de conceptos.

5.1 IMAGEN FRENTE A TEXTO

Resulta fundamental una **apropiada consideración del papel ejercido por las imágenes en la transmisión de conocimientos**, ya que en excesivas ocasiones son consideradas como un elemento de carácter secundario y subordinado al texto, olvidando su verdadero potencial. Los estudios presentados en esta tesis muestran la elevada capacidad para la expresión de ideas complejas que poseen las imágenes científicas. Como ejemplo baste recordar la Figura 168 (página 346) analizada en el Estudio II, en la que mediante la combinación de gráfica e ilustración se describen procesos complejos que suceden de forma sincrónica.

Aunque actualmente las ilustraciones necesitan ir casi siempre acompañadas de un texto, **parece posible establecer un lenguaje gráfico que sea lo suficientemente consistente para que la imagen pueda en muchas ocasiones ejercer un papel protagonista del proceso comunicativo**, utilizando el texto exclusivamente para aclaraciones o como refuerzo del mensaje expresado en figura. **Esto ya ocurre realmente en las imágenes que poseen principalmente una función descriptiva**, especialmente de estructuras complejas, ya que la efectividad de una ilustración en esta tarea es enormemente superior a la del texto. En estos casos es en los que se piensa generalmente para decir que una imagen vale más que mil palabras. La Figura 124 (página 287), representando una visión inferior de un cráneo humano, puede servir como ejemplo de este tipo de imágenes. Baste pensar en la cantidad de descripciones que serían necesarias para expresar por escrito la apariencia morfológica exacta de un modelo como el allí representado.

Por otra parte, **las imágenes también resultan imbatibles cuando se trata de ofrecer una idea global de un determinado proceso o fenómeno**, ya que la conexión de los sucesivos elementos o eventos descritos en el texto resulta más difícil que la que se puede lograr mediante, por ejemplo, un diagrama (Figura 153, en la página 320).

Lamentablemente, **en la representación concreta de determinados conceptos abstractos, el texto todavía no ha sido superado por la imagen** y podría decirse que una palabra vale al menos 10 imágenes. Un ejemplo de esto lo constituyen aquellos juegos de entretenimiento en los que hay que representar conceptos con imágenes. En ellos se demuestra la evidente dificultad que poseemos para realizar este tipo de tarea y la necesidad de emplear varios dibujos para expresar una única palabra. Es en este aspecto en el que debe hacerse un mayor hincapié para establecer unas pautas de representación universales, de ahí la importancia de los estudios presentados en esta tesis.

Por otra parte, aún cuando hoy día el texto actúa como principal transmisor del conocimiento en un primer contacto con la materia, no hay que olvidar la **importancia que posee la imagen para la segunda y sucesivas lecturas de repaso**. En éstas resulta muy habitual que el lector rememore los contenidos sin leer prácticamente el texto, atendiendo únicamente a las figuras, debido a su capacidad para resumir los contenidos, su mayor velocidad en la transmisión de conocimientos respecto al texto y a su potencia como herramienta mnemotécnica. Además, la imagen cumple una importante función al visualizar la información y rebajar el esfuerzo provocado por la memorización de información abstracta (ver *Funciones de las ilustraciones científicas* en página 44). Este apoyo mental en la imagen permite al lector realizar un descanso en la tarea decodificadora del texto y consolidar la información que acaba de leer. Sólo

hay que pensar en los antiguos tratados científicos, que apenas incorporaban imágenes, para comprender la importancia de las mismas en la facilitación de la lectura. Por estos motivos, la consideración de las figuras como elemento secundario es totalmente errónea y resulta esencial cuidar especialmente su diseño para que cumplan realmente su misión.

5.2 ILUSTRACIÓN Y FOTOGRAFÍA

Uno de los primeros avances tecnológicos que vino a cuestionar el futuro papel de la ilustración en la transmisión de conocimientos científicos fue la fotografía. No obstante, pese al entusiasmo despertado por el nuevo medio, con el paso del tiempo se ha sabido reconocer el valor funcional que cada uno de ellos posee. En términos generales, puede afirmarse que **el papel de la fotografía y el de la ilustración científica son complementarios**, teniendo cada uno una serie de aplicaciones específicas. Así, por ejemplo, la **ilustración** será la técnica preferida en aquellos casos en los que sea preferible otorgar un **carácter esquemático** a la imagen para describir con mayor claridad un determinado modelo o proceso.

El grado de esquematización de una ilustración puede ser muy variable. De este modo, **en las imágenes altamente descriptivas**, como las que se emplean para mostrar la morfología de los animales, la función de esquematización consiste en focalizar la atención del lector en determinados aspectos de la imagen, evitando la exploración innecesaria de áreas que carecen de utilidad para la comprensión de la idea representada y mejorando su eficacia. En este sentido, se puede afirmar que **“las ilustraciones nos enseñan a ver”**, puesto que remarcan aquellos aspectos que resultan esenciales para la discriminación de objetos, los cuales no son fácilmente apreciados observando directamente la realidad (o una fotografía en su defecto). Así,

por ejemplo, las ilustraciones permiten resaltar las diferencias existentes entre unas partes y otras del animal o entre las diferentes especies. De hecho, las guías de identificación de animales o plantas más demandadas están basadas en ilustraciones. Además, es posible disminuir la atención del lector sobre las áreas sin interés mediante diferentes estrategias: atenuación del color de relleno y/o de trazo, utilización de trazo de contorno discontinuo o de menor grosor, desaparición brusca o progresiva de la imagen en los márgenes, desenfoces, etc.

Aunque algunos de los métodos que se acaban de citar también están disponibles en la **fotografía**, la ilustración resulta un medio mucho más versátil para este fin. Además, la ilustración esquemática cuenta con la ventaja de que, al estar desligada de las limitaciones debidas a la necesidad de conservar la verosimilitud, puede utilizar con más libertad licencias artísticas con el fin de sugerir, en lugar de estar obligada a representar. Ésta puede ser una de las razones por las que, pese a las capacidades de los nuevos programas informáticos de edición fotográfica, no existen prácticamente imágenes modificadas con estas técnicas en los textos científicos. Es posible que los prejuicios en relación con la “verdad” de la imagen fotográfica puedan también estar jugando un papel en contra de su uso.

Por otra parte, otra virtud de las ilustraciones es que permiten reducir o eliminar aquellos rasgos particulares de un individuo, tomando exclusivamente aquellos que son comunes en la especie representada, por lo que constituyen un método extraordinariamente eficaz para la representación idealizada del modelo. Nuevamente, ésta es una tarea más complicada cuando se trata de llevar a cabo mediante la fotografía.

Un ejemplo muy claro de cómo la ilustración puede desempeñar mejor la función de descripción morfológica del modelo en relación con la fotografía puede verse en la Figura 1 (página 48). En ella, la fotografía nos muestra un individuo concreto inmerso en el medio y con numerosos factores distractores que dificultan la identificación de sus rasgos esenciales. La ilustración, sin embargo, muestra un modelo ideal de la especie, aislado del medio, en el cual se han eliminado los factores distractores y se han remarcado las áreas significativas.

Un grado mayor de esquematización se aplica a menudo a las imágenes que tiene por objeto mostrar en detalle alguna parte del animal o mostrar su estructura interna, para lo cual se suele recurrir a la sección, la transparencia o el desplazamiento de estructuras.

En ocasiones, incluso, **la esquematización puede ser mucho más intensa**, tal como ocurre con frecuencia **en los diagramas y gráficas científicas**, en los que, más que una descripción de los elementos representados, se pretende un uso conceptual de los mismos para mostrar sus interrelaciones. Con esta finalidad, las ilustraciones suelen ser imbatibles por la fotografía gracias a su capacidad para recoger lo esencial del modelo con la máxima economía de medios, aumentando claramente la eficacia en la transmisión de conocimientos.

En otros casos, la fotografía desempeña el papel protagonista como elemento de descripción. Esto ocurre fundamentalmente **cuando el modelo es morfológicamente muy complejo** y resulta difícil representarlo adecuadamente mediante un dibujo, como sucede, por ejemplo, con las preparaciones histológicas o lesiones dermatológicas. En estos casos el objetivo no es la diferenciación de las

partes del modelo (para lo cual incluso podría ser más útil la ilustración) sino identificar en la realidad un determinado tejido o lesión a partir de las imágenes estudiadas.

No obstante, existen diferentes situaciones en las que se utilizan fotografías para describir estructuras no excesivamente complejas, tales como preparaciones anatómicas. En estos casos, el poder descriptivo y diferenciador de la fotografía es inferior al de una ilustración pese a que la muestra anatómica esté cuidadosamente preparada e incluso teñida de color. Esto se debe fundamentalmente a la falta de contraste entre las diferentes estructuras y a la presencia de factores distractores, tales como restos de tejidos seccionados, sangre y fluidos, sombras y reflejos debidos a una iluminación inadecuada, deformaciones de los órganos extraídos del cadáver, rasgos particulares del individuo no generalizables al resto de la especie analizada, etc. Normalmente, este tipo de atlas son mucho menos utilizados que los ilustrados con dibujos.

Finalmente, uno de los usos más frecuentes de las fotografías es para capturar imágenes tomadas con dispositivos de análisis o diagnóstico de última generación. En estos casos, las fotografías, además de su mayor facilidad para registrar matices finos tienen también un valor documental acerca del caso mostrado y también a menudo pretenden plasmar el aspecto novedoso de una determinada técnica diagnóstica.

5.3 POSIBLE VIGENCIA EN EL FUTURO DE LOS RECURSOS EMPLEADOS ACTUALMENTE EN LA REPRESENTACIÓN DE CONCEPTOS CIENTÍFICOS

Una cuestión de gran importancia es la vigencia que los recursos gráficos utilizados actualmente en ilustración científica puedan tener en épocas futuras. En primer lugar hay que tener en cuenta las **tendencias** existentes en relación con la presentación de contenidos a los usuarios. En este sentido hay que destacar la creciente implantación de **nuevos dispositivos digitales de uso personal**, tales como el ordenador de sobremesa y el ordenador portátil, los teléfonos móviles, agendas electrónicas (PDAs), teléfonos inteligentes (smartphones), videoconsolas y recientemente el libro electrónico. Este último, por cierto, está incorporándose de una forma muy rápida en nuestra sociedad, por lo que es probable que constituya una de las principales formas de lectura en un futuro próximo. Todos estos aparatos han generado una importante demanda de contenidos en un formato adaptado a sus particulares características técnicas, lo que está determinando que un mismo elemento gráfico (imagen, vídeo, texto, etc.) tenga que ser modificado para mostrarse adecuadamente en cada tipo de dispositivo. Por otra parte, la posibilidad de manejar contenidos multimedia e interactivos está planteando nuevas posibilidades de representación de conceptos que permiten hacer más efectiva la comunicación científica. Entre las nuevas estrategias cabe destacar la **posibilidad de explorar a demanda la información presentada**. Esto es algo a lo que los usuarios se han acostumbrado gracias fundamentalmente a la navegación por Internet y en menor medida a los discos multimedia (CD-ROM y DVD). En este sentido, también hay que destacar el papel desarrollado por los videojuegos como elemento de introducción a las tecnologías digitales para las nuevas generaciones, más aún cuando este tipo de

productos ha incluido recientemente en su oferta los juegos de carácter educativo. La exploración de la información de forma personalizada se basa en la creación de enlaces entre unos bloques de información y otros. En el caso de la información gráfica, generalmente esta parte de una imagen o vista general en relación con la materia tratada (por ejemplo una figura de cuerpo entero como punto de partida para el estudio anatómico del cuerpo humano) que habitualmente es estática y que progresivamente va mostrando información más específica mediante llamadas a diferentes tipos de imagen (fotografía, ilustración, vídeo, animación, etc.) que el usuario puede activar a voluntad.

Teniendo en cuenta este panorama, resulta necesario anticiparse a la posible evolución de los soportes del conocimiento y determinar cuáles serán los **recursos gráficos actuales que seguirán teniendo validez** independientemente de la tecnología empleada para su representación, ya que es en ellos en los que se tendrá que hacer un mayor esfuerzo de consenso en su diseño para establecer un lenguaje gráfico consistente y duradero.

En primer lugar, una vez analizadas las tecnologías punteras disponibles, es posible afirmar que **las representaciones morfológicamente descriptivas no perderán su valor con la llegada de las nuevas tecnologías**, sino que, en todo caso, podrán estar dotadas en mayor medida de tridimensionalidad (virtual o real) y movimiento. Es más, prácticamente todas las consideraciones realizadas acerca de los **recursos al servicio de la representación realista** del modelo (página 285) siguen teniendo aplicación en las imágenes en tres dimensiones e igualmente la mayor parte de los **recursos empleados con finalidad esquemática** (página 289). En este sentido, creo que sería erróneo pensar que los adelantos tecnológicos nos conducirán a un tipo de representación más realista. Pese a que la tendencia actual en

el mundo del ocio, y especialmente en los videojuegos es a crear imágenes con un alto grado de parecido con la realidad y de un gran efectismo, no hay que olvidar que la presencia de imágenes esquemáticas en los libros de ciencia no se debe precisamente a carencias tecnológicas. Al contrario, obedece realmente a una búsqueda voluntaria de sencillez en las representaciones de los modelos para facilitar su identificación y evitar una exploración demasiado prolongada de ellas que impida centrarse en el proceso descrito. Incluso, está por ver que la propia tridimensionalidad no suponga una menor efectividad en la transmisión de información abstracta compleja. Por estas razones, la **simplificación** y eliminación de la información de color, textura, figura, también serán de aplicación en las imágenes tridimensionales dinámicas e interactivas que pueden realizarse con la ayuda de programas informáticos. Sin embargo, existen algunos recursos que podrían dejar de tener utilidad en el caso de disponer de imágenes dinámicas. Así, por ejemplo, los **recursos destinados a indicar la ampliación de una zona** de la ilustración podrían ser sustituidos con gran efectividad por pequeñas animaciones que representaran mediante un **efecto zum** el aumento real de tamaño del área considerada, con el fin de mostrarla en detalle. Hasta ahora, la imposibilidad de incorporar movimiento en las imágenes impresas había obligado a ingeniosas estrategias para indicar este efecto (ver el apartado “Vista ampliada vs global” en página 293).

De la misma forma, algunos **recursos destinados a mostrar la estructura interna de los modelos** verían probablemente reducido su uso (estos se analizaron en las páginas 296 a 304). Así, **la sección** sería innecesaria en muchos casos debido a que una imagen tridimensional en movimiento con estructuras semitransparentes puede ser mucho más efectiva para mostrar la morfología interna del modelo que el empleo de cortes sucesivos. Y es que las secciones deben ser valoradas de forma

conjunta para reconstruir el objeto tridimensional, lo que supone un mayor esfuerzo mental, mientras que una imagen en tres dimensiones muestra directamente la apariencia del objeto representado. No obstante, otros recursos destinados a mostrar la estructura interna de los modelos, tales como la **transparencia** o la **movilización** de estructuras, parecen mantener sus aplicaciones en la imagen en movimiento, aunque con frecuencia se muestren de forma progresiva en lugar de en una sola imagen.

Los recursos para mostrar **diferencias de unos elementos respecto a otros**, que fueron analizados en las páginas 262 a 272, también es previsible que conserven su utilidad en la mayoría de los casos. Así, por ejemplo, el **cambio de las cualidades de la forma** seguirá siendo el método más directo para establecer diferencias entre elementos. En cuanto a los **sistemas de rotulación**, estos parecen conservar su utilidad para diferenciar unos elementos de otros en la mayoría de los casos, aunque con algunas diferencias de uso en ciertas ocasiones. En primer lugar, en imágenes interactivas es relativamente frecuente la presentación progresiva de la información con la misión de ejercitar la memoria de los usuarios. Así, los rótulos o **leyendas** de los elementos representados pueden hacerse visibles únicamente al hacer clic o colocar el ratón sobre ellos. Además, estos pueden ser sustituidos o complementados por un mensaje auditivo con la misma información. Igualmente, las referencias de **pie de figura** con frecuencia son suplidas por un mensaje sonoro.

De especial interés resulta el caso de las **gráficas científicas**, ya que éstas son una muestra evidente de que no siempre la imagen dinámica o interactiva está por encima de la estática. Por ejemplo, si consideramos una sencilla gráfica de línea, resulta fácil hacerse a la idea de las relaciones expresadas a través de ella y comparar los valores correspondientes a los diferentes tramos de forma fácil e intuitiva.

Precisamente su principal virtud es la de presentar diferentes datos de forma conjunta para mostrar las relaciones entre ellos. Por tanto, parece lógico pensar que la presentación sucesiva de los mismos dificultaría su comprensión. Únicamente parece aportar algún tipo de ventaja en algunos casos la representación progresiva de la gráfica en la cual los nuevos datos nuevos se agregan a los ya representados. Esta modalidad podría servir para enfatizar la evolución de un determinado fenómeno en el tiempo.

Los **diagramas**, serían otro tipo de gráfico que no perdería vigencia con el avance de las tecnologías multimedia. Pese a que cualquiera de los procesos representados mediante un diagrama puede ser mostrado de forma secuencial, con todo tipo de recursos de animación, sonido e interactividad, siempre será necesaria una imagen global del proceso que permita crear una representación mental de la totalidad de los pasos de que se compone. En este sentido, es también previsible que sigan siendo utilizados los diagramas de tipo filogenético con escasas variaciones. Además, muchos de los recursos empleados en los diagramas estáticos se están incorporando de manera natural a los diagramas dinámicos que ya se están diseñando, y que están basados en gran medida en los primeros. Así, por ejemplo, las flechas siguen siendo el elemento principal de conexión entre los diferentes eventos o elementos, y las acciones específicas como la estimulación, la inhibición, la catálisis, etc., expresadas mediante tipos concretos de flechas, están siendo utilizadas en los nuevos formatos de imagen y es previsible que continúen siéndolo en el futuro, especialmente las que ya gozan de consenso, como las aceptadas para las reacciones químicas. Por otra parte, los criterios de representación esquemática de los modelos en los nuevos formatos dinámicos son iguales a los observados en diagramas estáticos, debido a que estos generalmente están al servicio del reconocimiento rápido

de los elementos participantes, por lo que seguirán tendiendo a la simplificación y la idealización.

Quizás, los conceptos que más se van a beneficiar de nuevas formas de representación serán los que tienen que ver con temporalidad y movimiento. El movimiento podrá ser representado mediante desplazamientos y giros reales de los elementos o mediante cambios de perspectiva, por lo que en parte dejarán de tener utilidad recursos para sugerir dinamismo en imágenes estáticas, especialmente las flechas. No obstante, posiblemente seguirán siendo necesarios en imágenes estáticas que muestren la globalidad de un proceso en el que existen elementos en movimiento. Además, estos recursos también podrán incorporarse ocasionalmente a las imágenes dinámicas para reforzar el efecto de velocidad (mediante flechas, estelas, líneas cinéticas, dobles contornos, etc.), como de hecho ya ocurre actualmente en algunas animaciones. En cuanto a la temporalidad, ya no será necesario recurrir obligatoriamente a artefactos como la representación de las sucesivas fases enlazadas por flechas (procedimiento más empleado en la actualidad) u organizadas espacialmente en diferentes estadios o viñetas, sino que podrán optar por la incorporación de movimiento real para mostrar el proceso. Así, los fenómenos desarrollados a lo largo del tiempo, como los cambios morfológicos, la destrucción, la unión o la división, descritos en este trabajo, pasarán a ser representados mayoritariamente mediante escenas de vídeo (bidimensional o tridimensional). No obstante, de nuevo una figura única incorporando todas las fases puede seguir siendo necesaria para adquirir una idea general del proceso descrito, por lo que no hay que descartar el uso de estos recursos en los nuevos formatos de imagen.

No parece probable que los dispositivos tecnológicos de última generación puedan acabar a medio plazo con la imagen estática, incluso en el caso de que el libro impreso en papel sea sustituido por completo por el soporte electrónico. Esto es así por varias razones:

1. Un asunto crucial para comprender la evolución posible de la ilustración científica es la **tendencia generalizada en las publicaciones científicas al uso de imágenes esquemáticas**, que resuman de la manera más sencilla los conocimientos que se pretende transmitir. Así por ejemplo, frente a las imágenes con un alto grado de realismo predominan las ilustraciones de formas muy simplificadas que a menudo tienen un valor más simbólico que descriptivo. Esto indica que, pese a la espectacularidad de las imágenes generadas en programas de diseño tridimensional o de los materiales interactivos, su utilización para la transmisión del conocimiento científico dependerá realmente de su funcionalidad más que de su carácter más o menos sofisticado. No hay que olvidar que en el ámbito científico a menudo el uso de imágenes se ve a menudo reducido al mínimo indispensable, siendo esto aún más evidente conforme aumenta el grado de especialización de la materia considerada. Por tanto, el usuario de este tipo de materiales no se va a dejar fácilmente seducir por el aspecto de la imagen tanto como por su claridad de exposición de los contenidos. Además hay que contar con el conservadurismo tradicionalmente característico de la imagen científica. Por citar un ejemplo, aunque en hoy en día es posible realizar ilustraciones de un alto grado de impacto visual, éstas son realmente una minoría dentro de estas publicaciones, que en muchos casos se reservan para la portada o para la introducción a los capítulos. En este sentido, la imagen científica camina a una

velocidad muy distinta a la de la imagen destinada al ocio, en donde los recursos efectistas a menudo ocultan (cuando no aniquilan) el contenido de la historia que supuestamente pretendían narrar. Precisamente, este es uno de los riesgos contra los que con frecuencia se ha alertado a los ilustradores científicos.

2. Por otra parte, hay que considerar que **la propia naturaleza de algunas de las representaciones gráficas hace difícil la mejora de éstas por medio de imágenes dinámicas o interactivas**. Esto es especialmente cierto en el caso de las gráficas y los diagramas científicos. Hay que pensar que en una imagen estática se encuentran todos los elementos de forma simultánea a la vista del observador, lo que permite obtener una visión global del asunto representado, mientras que en imágenes dinámicas y/o interactivas se hace precisa la exploración progresiva de los contenidos. La exploración a demanda tiene la ventaja de promover el aprendizaje activo y, por tanto, puede tener un efecto positivo sobre el interés despertado en el usuario y la capacidad de recuerdo posterior de la información. Sin embargo, también tiene aspectos negativos, tales como la necesidad de un mayor tiempo de examen y la mayor dificultad para relacionar conceptos, ya que estos son mostrados de forma sucesiva en lugar de simultánea. Por supuesto, esto puede solventarse aprovechando las ventajas de ambos sistemas en un mismo material, en cuyo caso, habría que dominar los recursos de representación de ideas para ambos tipos de imagen.
3. Un aspecto que posiblemente se pueda solventar en el futuro está relacionado con los **condicionantes económicos**, ya que el trabajo necesario para desarrollar una ilustración dinámica e interactiva es mucho mayor que el necesario para realizar una imagen estática, por lo que esto tendría

actualmente un elevado coste para las editoriales, que en muchos casos no podría ser asumido.

4. Finalmente, existen algunos **condicionantes tecnológicos** que llevará algún tiempo solventar para que la sustitución de la imagen impresa por la electrónica sea definitiva, aunque no parece que éste sea un factor de mucho peso teniendo en cuenta la velocidad con que se suceden los avances tecnológicos en nuestra sociedad. Sin embargo, a corto plazo, pueden tener cierta importancia. Así, actualmente la lectura en pantalla de los ordenadores es minoritaria debido al desgaste fisiológico que ello conlleva. En los últimos años, sin embargo, se han desarrollado aparatos específicamente diseñados para lectura en pantalla (libros electrónicos), que están en la actualidad preparados para mostrar de forma estática en pantalla las imágenes y el texto, de forma similar a como se realiza la lectura de un libro. No obstante, la velocidad de refresco (renovación de la imagen representada) en las pantallas basadas en este tipo de tecnología es por el momento baja, por lo que no es un medio idóneo para la reproducción de escenas en movimiento. Además, actualmente la mayoritaria de ellos únicamente son capaces de trabajar con imágenes en escala de grises. En los últimos meses, se están lanzando al mercado dispositivos que incorporan pantallas en color de tipo LED con tecnologías que mejoran el ángulo de visión y que pueden suponer una alternativa a los libros electrónicos en blanco y negro.

Por tanto, **lo más probable a medio plazo parece ser la convivencia e hibridación de ambos tipos de imágenes (ilustraciones estáticas y dinámicas interactivas)** en el ámbito de la comunicación científica multimedia, de forma similar a como ha sucedido en los últimos tiempos con la fotografía y la ilustración. Por este

motivo, es necesario valorar con cierta prudencia la posible influencia que las nuevas tecnologías informáticas puedan tener en el campo de la transmisión de conocimientos científicos mediante imágenes. Más allá de reivindicaciones nostálgicas, la ilustración tradicional seguirá estando por su propia funcionalidad en la base de la ilustración futura, por lo que es necesario seguir avanzando en la comprensión de sus mecanismos de representación para poder sacar el máximo partido de las tecnologías venideras. Por otra parte, **es preciso establecer consensos que puedan ser trasladables a los nuevos entornos electrónicos** para así poder establecer unas normas coherentes entre las imágenes impresas y las virtuales en tanto dure el proceso de conversión a los medios informáticos y se abandone definitivamente el uso de papel como soporte de nuestro conocimiento.

GLOSARIO DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS CIENTÍFICOS

Actividad

Capacidad para hacer algo o para producir algún efecto. Frecuentemente utilizado en biología, medicina y veterinaria para hacer alusión a la capacidad que poseen determinados elementos o sustancias químicas para ejecutar una acción en un organismo.

Adenosín trifostato

Molécula fundamental para el almacenamiento de energía en las células. Participa en numerosas reacciones químicas proporcionando la energía necesaria para que éstas tengan lugar.

Apoptosis

Muerte celular debida a un mecanismo programado dentro de ella que se pone en marcha en determinadas situaciones.

Área receptora visual (corteza visual primaria)

Área de la corteza cerebral situada en su parte posterior que procesa la información visual.

Bastones

Células fotorreceptoras en forma de bastón situadas en la retina que se encargan sobre todo de la visión en condiciones de poca iluminación. El sistema de bastones es extremadamente sensible en la oscuridad pero no puede distinguir detalles precisos.

Catálisis

Aumento de la rapidez de una reacción química

Células fotorreceptoras

Células especializadas situadas en la retina que contienen pigmentos visuales y son capaces de transformar la energía luminosa en impulsos nerviosos.

Cladograma

Diagrama filogenético en forma de árbol en el que se representa un ancestro común para todos los descendientes colocados en las ramas, permitiendo determinar el parentesco evolutivo de las especies. No obstante, sus ramas no reflejan tiempo evolutivo.

Conos

Células fotorreceptoras en forma de cono situadas en la retina. Operan ante estimulaciones luminosas relativamente altas y permiten la visión cromática y la de los detalles.

Córnea

Membrana transparente situada en la cara anterior del ojo que constituye el principal sistema de enfoque del mismo.

Cristalino

Lente situada detrás del iris a través de la cual pasa la luz antes de dirigirse a la retina. El cambio de forma del cristalino para enfocar a diferentes distancias recibe el nombre de acomodación.

Degeneración

Deterioro estructural de una célula o tejido.

Dendrograma

Diagrama con forma de árbol.

Desarrollo

Proceso de crecimiento y diferenciación. Suele hacer referencia al crecimiento de un ser vivo, de un órgano, de una célula o de un conjunto de células. El desarrollo implica casi siempre un cambio en el tamaño del organismo considerado, aunque también suele existir una modificación de su forma exterior o su composición.

Destrucción

Consiste en la desintegración o reducción del modelo a pedazos o a partículas. Existen diferentes formas de destrucción frecuentemente manejadas en los tratados científicos. Entre ellos, podemos considerar los diferentes tipos de muerte celular (tales como *necrosis* o *apoptosis*), la digestión (de alimentos, *orgánulos celulares*, microorganismos, etc.), o la lisis (rotura) de moléculas.

Diferenciación

Conjunto de cambios en la estructura o en la función de una célula, órgano u organismo que conducen a su especialización.

Digestión

Degradar materia orgánica mediante el calor, sustancias químicas o microorganismos.

Enzima

Proteína producida por la célula que acelera de forma específica un tipo de reacción química.

Estimulación

Avivamiento de una actividad, operación o función

Fenograma

Diagrama filogenético en forma de árbol en el que la longitud de sus ramas es proporcional al grado de semejanza entre los organismos, no aportando ninguna información sobre su evolución.

Filogenético

Perteneciente o relativo a la filogenia.

Filogenia

Parte de la biología que se ocupa de las relaciones de parentesco entre los distintos grupos de seres vivos. En biología, origen y desarrollo evolutivo de las especies, y en general, de las estirpes de seres vivos.

Filograma

Diagrama filogenético en forma de árbol en el que las longitudes de las ramas son proporcionales al cambio evolutivo.

Fisiología

Ciencia que tiene por objeto el estudio de las funciones de los seres orgánicos.

Fisiológica

Perteneciente o relativo a la fisiología.

Flujo

Movimiento de un fluido (aire, agua, sangre, etc.) progresivamente de una parte hacia otra.

Fóvea

Pequeña área de la retina que contiene únicamente conos que se corresponde con la máxima capacidad de visión.

Génesis

Proceso de formación de algo. Con frecuencia se refiere a la formación de un ser vivo o a alguna de sus partes (células, tejidos, órganos, sistemas, etc.).

Inhibición

Detención o restricción de un proceso

Lisis

Disolución, descomposición.

Maduración

Proceso mediante el cual se adquiere un desarrollo completo.

Malignización

Proceso por el cual una célula se vuelve cancerosa.

Membrana celular

Estructura laminar que rodea a la célula a través de la cual se produce el intercambio de sustancias.

Metamorfosis

Cambio que experimentan muchos animales durante su desarrollo, y que se manifiesta no solo en la variación de forma, sino también en las funciones y en el género de vida.

Microorganismo

Nombre genérico que designa los seres organizados solo visibles al microscopio; p. ej. las bacterias, los virus, las levaduras, etc.

Mitosis

Forma de división de la célula en la que, previa duplicación del material genético, cada célula hija recibe una dotación completa de cromosomas.

Necrosis

Muerte celular debida a la acción de agentes externos que provocan su rotura y la liberación de su contenido.

Neurona bipolar

Neurona que es estimulada por los fotorreceptores visuales y envía señales eléctricas a las células ganglionares de la retina.

Neurona ganglionar

Neurona que recibe señales de las células bipolares. El conjunto de axones de las neuronas ganglionares forman el nervio óptico y se dirigen hacia el núcleo geniculado lateral del tálamo, para finalmente llegar a la corteza cerebral.

Núcleo geniculado lateral

Núcleo del tálamo que recibe señales del nervio óptico y se conecta con el área de la visión de la corteza cerebral.

Orgánulo

Unidad estructural y funcional de una célula u organismo unicelular; p. ej., las mitocondrias o el núcleo.

Patología

Parte de la medicina que estudia las enfermedades.

Patológica

Perteneciente o relativo a la patología.

Postimagen

Imagen que es visible sin la presencia del estímulo que la provocó. Suele producirse al observar de forma prolongada una figura. Los colores de que está compuesta son los complementarios a los que poseía la imagen original.

Quiasma óptico

Lugar del cerebro donde tiene lugar el cruce de parte de las fibras de los nervios ópticos.

Reproducción asexual

Producción de individuos sin gametos (óvulos o espermatozoides), en la que no interviene el sexo ni es necesaria pareja. La reproducción tiene lugar por diferentes mecanismos que tienen en común la formación de clones, es decir, individuos con la misma dotación genética.

Retina

Red compleja de células que cubre el fondo del ojo. Estas células incluyen los fotorreceptores, que generan una señal eléctrica como respuesta a la luz, así como otras células (horizontales, bipolares, amacrinas y ganglionares).

Reflectancia

Fracción de la radiación que incide sobre una superficie que es reflejada por ésta.

Tálamo

Núcleo del cerebro por el que pasan las conexiones neuronales de todos los sentidos excepto el olfato antes de llegar a la corteza cerebral.

Tronco del encéfalo

Parte del encéfalo formada por el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo.

Entre sus funciones se incluyen: la respiración, la función cardiaca, la deglución, el movimiento de los ojos y de la boca o la transmisión de mensajes sensoriales como el calor o el dolor.

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Comparación entre fotografía e ilustración para describir morfológicamente especies animales. La ilustración muestra su gran capacidad de aislamiento y eliminación de factores distractores, así como una mejor diferenciación de los rasgos característicos, así como su idealización para evitar rasgos propios de un individuo concreto.....	48
Figura 2: Representación de estructuras superpuestas.....	49
Figura 3: Asociación de ilustración e imagen de microscopía electrónica	50
Figura 4: ilustración como complemento de la fotografía.....	51
Figura 5: Células de la retina (Hubel, D.H. 1999).....	65
Figura 6: Esquema del sistema visual.....	66
Figura 7: Experimento de Bradley y Petry (1997).....	70
Figura 8: Gracias a la organización perceptiva percibimos objetos a partir de la fusión de formas más pequeñas, como sucede en esta imagen (Fotografía tomada de R. C. James).....	70
Figura 9: Debido al mecanismo de la pregnancia, la mayoría de las personas que contemplan la imagen superior ven cinco aros y no las formas complejas que se muestran en la imagen inferior (Tomado de Goldstein 2006).....	71

Figura 10: (a) Agrupamiento visual de elementos bien en filas o en columnas. (b) Agrupamiento exclusivamente en columnas debido a similitud de la figura (Tomado de Goldstein 2006).	72
Figura 11: Ejemplo de la Ley de la buena continuidad (Tomado de Goldstein 2006)..	73
Figura 12: Ejemplo de la Ley de proximidad o cercanía (Tomado de Goldstein 2006).	73
Figura 13: Ejemplos que demuestran la ley del cierre. Vemos un círculo y un rectángulo pese a que en realidad son líneas aisladas.	74
Figura 14: Experiencia de Bev Doolittle (1985)	75
Figura 15: Principio de la región común (Tomado de Goldstein 2006).	76
Figura 16: Principio de la conexión entre elementos (Tomado de Goldstein 2006).	76
Figura 17: Principio de la sincronía (Tomado de Goldstein 2006).....	77
Figura 18: Heurístico de la oclusión (Tomado de Bregman 1981).	77
Figura 19: Demostración de la importancia de la suposición de que la luz proviene de arriba. La fotografía de la derecha es idéntica a la de la izquierda salvo porque se ha rotado 180° (Tomado de Goldstein 2006).....	78
Figura 20: Versión del vaso de Rubin.....	80
Figura 21: Experimento que demuestra la mayor importancia de la simetría sobre el tono para la determinación de lo que es figura y lo que es fondo.	80
Figura 22: Las formas más pequeñas (figura en forma de cruz) suelen ser percibidas como figura antes que las grandes (figura en forma de X).....	81

Figura 23: Ejemplo creado para demostrar que las figuras orientadas según el eje horizontal o vertical suelen verse más fácilmente como figura que las oblicuas..... 81

Figura 24: Percepción de formas significativas (a)..... 82

Figura 25: Percepción de formas significativas (b)..... 82

Figura 26: Versión del vaso de Rubin..... 83

Figura 27: silueta esquemática de mujer..... 84

Figura 28: Uno de los métodos de detección de las características básicas de la imagen que son captadas en la primera etapa de la percepción de objetos es la búsqueda visual. En el ejemplo, los observadores tienden a detectar rápidamente la letra “O” debido a que existen características diferenciadas en los elementos presentados..... 85

Figura 29: Cuando los estímulos presentados tienen un mayor parecido formal con el objetivo buscado (R), su localización se vuelve más difícil al incrementar el número de elementos presentados. 86

Figura 30: Representación de algunos geones (a) y diferentes objetos creados a partir de ellos (b). Los números en los objetos indican los geones que los componen. La ubicación relativa de los geones también es importante, como se puede apreciar en la jarra y el cubo (Tomado de Biederman, 1987)..... 86

Figura 31: Pese al drástico enmascaramiento, en la imagen de la izquierda todavía es reconocible el objeto oculto al permanecer visibles parte de los geones. En la

imagen de la derecha, tras ocultarlos, el reconocimiento es casi imposible (Tomado de Biederman, 1987).....	87
Figura 32: La visión del color permite detectar alimentos o peligros potenciales en la naturaleza.....	88
Figura 33: Composición de Josef Albers basada en el contraste simultáneo. Las dos cruces son exactamente del mismo color.....	91
Figura 34: La constancia de luminosidad permite ver de forma estable el valor tonal de los objetos cuando son sometidos a fuentes de luz muy distintas. Esto se debe a que la relación de luz reflejada por los diferentes objetos de la escena es más importante que la luz que cada uno de ellos refleja. En el ejemplo, con fuentes de luz diferentes, la relación 9/5 se mantiene (Tomado de Goldstein, 2006).....	94
Figura 35: Borde de reflectancia frente a borde de iluminación. En el dibujo de la izquierda se ha construido teniendo únicamente en cuenta la diferencia de color del material (reflectancia) y en la de la derecha las diferencias de tono se deben a la iluminación.	95
Figura 36: Importancia de la zona de penumbra para la interpretación correcta de una sombra. En la imagen de la izquierda se observa el área de penumbra en la periferia de la sombra. En la imagen de la derecha, una vez enmascarada el área de penumbra, resulta más difícil identificar la sombra como tal.....	96
Figura 37: Ilusión de Adelson. Gracias a la correcta identificación de la sombra, vemos los cuadros blancos iguales entre sí y diferentes de los negros, pese a que	

realmente las dos áreas marcadas con las letras A y B tienen exactamente el mismo color. 96

Figura 38: Los objetos cerca de la línea de horizonte parecen más lejanos..... 99

Figura 39: Sin sombras proyectadas el cilindro parece situarse más lejos al tener mayor altura relativa (A). Con sombras proyectadas el cilindro parece situarse más cerca, aunque flotando en el aire (B)..... 99

Figura 40: Tamaño relativo como clave de profundidad..... 100

Figura 41: Fotografías similares a las que se mostraron en el experimento de Epstein, en las que el tamaño de las monedas se ha igualado. Pese a ello, cuando los sujetos participantes en el experimento las observaron con visión monocular, las juzgaron de distinto tamaño debido al efecto del tamaño familiar 101

Figura 42: Perspectiva atmosférica. 101

Figura 43: Gradiente de textura..... 102

Figura 44: Cálculo de distancia sin suelo 103

Figura 45: Al desplazarse el ojo de la posición 1 a la 2, la distancia recorrida en la retina por la proyección del objeto más cercano es mayor que la del más alejado. 104

Figura 46: Cuando el ojo se mueve, se produce un movimiento relativo de las superficies solapadas, cubriéndose (eliminación) o descubriéndose (acrecentamiento) la que queda por detrás..... 104

Figura 47: Patrones de puntos aleatorios de Julesz..... 106

Figura 48: Esquema del experimento realizado por Wallach y O'Connell, 1953.....	111
Figura 49: Aunque exteriormente el punto puede ser considerado como la más pequeña forma elemental, éste es un concepto relativo que depende de la relación de tamaños entre el punto y otras formas en el plano. Así, cuando se dibuja una línea fina cerca de un punto de mayor grosor, éste puede pasar a ser considerado como plano.....	126
Figura 50: Pese a que el punto podría ser considerado idealmente como pequeño y redondeado, para Kandisky éste puede adoptar infinitas figuras.....	127
Figura 51: Según Arnheim, Cuando consideramos un punto aislado se producen una serie de tensiones entre éste y los límites del encuadre, que van a depender de la ubicación de dicho punto.	128
Figura 52: Si se sitúan varios puntos dentro del encuadre, además, estos ejercerán fuerzas recíprocas entre sí, además de las que se producen entre estos y los límites de la superficie de representación.	128
Figura 53: los puntos también contribuyen a guiar la mirada por la superficie de representación, generando sensaciones rítmicas y de movimiento.	129
Figura 54: Los puntos dispuestos en serie pueden dar la sensación de formar figuras. Este fenómeno es más llamativo cuanto más próximos estén los puntos entre sí.	129
Figura 55: Clasificación taxonómica de los diferentes tipos de línea según Villafañe y Mínguez.	133

Figura 56: El dinamismo de una imagen también depende en buena medida de las características de las líneas que la componen. Así, las líneas rectas horizontales y verticales sugieren más calma que las oblicuas o las líneas curvas.	134
Figura 57: Sensación de profundidad mediante un gradiente de textura (Tomado de Villafañe y Mínguez, 2006)	142
Figura 58: Recursos gráficos para generar la sensación de volumen en imágenes planas	153
Figura 59: Representación de volumen mediante planos.	155
Figura 60: Recursos para generar volumen ilusorio.....	155
Figura 61: Ilusión de Müller-Lyer.	159
Figura 62: Ilusión de Hering.....	159
Figura 63: Derby de Epsom. Jean Louis Théodore Gericault.....	161
Figura 64: Secuencia de un caballo galopando. Eadweard Muybridge.....	161
Figura 65: Herreros. Eadweard Muybridge.....	162
Figura 66: Hombre desnudo caminando. Eadweard Muybridge.	163
Figura 67: Las formas inclinadas (centro) poseen mayor dinamismo que las orientadas según el eje vertical y horizontal (izquierda). Las inclinaciones asimétricas (derecha) generan mayor sensación dinámica.....	164
Figura 68: La última cena. Tintoretto.	165

Figura 69: Movimiento estroboscópico	166
Figura 70: Duchamp, Desnudo bajando una escalera.	167
Figura 71: En la fila superior se muestra un ejemplo de cómo el valor tonal no funciona como variable asociativa. En la fila inferior la forma sí actúa como tal.	173
Figura 72: propiedades perceptivas o niveles que pueden ser alcanzados mediante cada una de las variables visuales consideradas por Bertin (tomado de Bertin 1983).....	174
Figura 73: Imagen según la terminología de Jacques Bertin (Tomado de Bertin, 1983).	175
Figura 74: Figuración según la terminología de Jacques Bertin (Tomado de Bertin, 1983).....	176
Figura 75: Una imagen (4), permite una lectura global de la misma para compararla con otra imagen (3) pero permite también lecturas parciales para comparar determinados aspectos (5-7). Finalmente, podemos aislar un elemento para realizar una lectura elemental (8) (Tomado de Bertin, 1983).	176
Figura 76: La densidad gráfica excesiva (izquierda) o escasa (derecha) limitan la legibilidad, mientras que una densidad adecuada la facilita (centro) (Tomado de Bertin, 1983).	177
Figura 77: La desproporción entre las dos dimensiones de la gráfica, denominada por Bertin separación angular es también un factor determinante de la legibilidad (Tomado de Bertin, 1983).....	178

Figura 78: La adecuada separación de las marcas más significativas de las que lo son menos también es importante para evitar una imagen débil (izquierda) o muy remarcada (derecha) (Tomado de Bertin, 1983).	178
Figura 79: La redundancia de información aportada a partir de las diferentes variables refuerza la legibilidad (Tomado de Bertin, 1983).	179
Figura 80: Proceso de esquematización de sombras, primero eliminando áreas de transición rápida y luego igualando el color en cada área.	199
Figura 81: A la derecha, línea de contorno modulada que desaparece en la parte superior de la forma. A la derecha, línea de contorno con traslazo que rodea a dos formas que se encuentran unidas entre sí y están parcialmente solapadas.	205
Figura 82: Componentes de las formas y sus cualidades	207
Figura 83: Textura que actúa al mismo tiempo como modeladora (definiendo los volúmenes) y material (describiendo la composición y estructura de las materias representados) (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).	213
Figura 84: Importancia de la posición relativa de las formas en para la generación de significado.	220
Figura 85: Modelo de representación de conceptos.	222
Figura 86: Diferentes modalidades de flecha identificadas en las imágenes analizadas para representar una acción de estimulación o inhibición. En cada caso se muestra la variante estimuladora junto a la correspondiente inhibidora. En	

algunos casos la información es redundante, reforzándose el significado del signo mediante color, tipo de trazo y símbolo o texto.....	246
Figura 87: Representación de estimulación e inhibición mediante símbolos”+” y “-“, así como con flechas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	247
Figura 88: Representación de estimulación e inhibición mediante símbolos.	247
Figura 89: Representación de catálisis mediante flechas (Tomado de Guyton y Hall, 2006).....	248
Figura 90: Representación de catálisis mediante texto (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).....	249
Figura 91: Representación de catálisis mediante flecha curva (Tomado de Guyton y Hall, 2006).	250
Figura 92: Representación de distintas acciones mediante flechas y texto (Tomado de Guyton y Hall, 2006). La unión de una sustancia transmisora (en verde) a la proteína receptora (en naranja) provoca la separación de la subunidad α de la proteína G, que posteriormente puede realizar diferentes acciones (indicadas con los números 1, 2, 3 y 4). Estas acciones están indicadas mediante flechas, aunque para identificarlas es también preciso analizar la secuencia representada. En algunos casos, las flechas representan otros conceptos, como movimiento o traspaso, lo que dificulta la comprensión de la figura...	251
Figura 93: Representación de actividad mediante formas radiadas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	252

Figura 94: Cambio de forma debida al movimiento y representada por cambio de figura 255

Figura 95: Diferenciación celular representada mediante diagrama (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005). 256

Figura 96: Sendos procesos de maduración o desarrollo (A y B) representados mediante secuencia enlazada por flechas (Tomado de Hickman et al., 2006). 258

Figura 97: Representación de proceso de malignización a partir de una célula normal. 259

Figura 98: Representación de metamorfosis mediante secuencia cíclica enlazada por flechas (Tomado de Hickman et al., 2006). 260

Figura 99: Dos procesos de destrucción de células tumorales representados mediante sendas secuencias enlazadas por flechas en la que se emplea un cambio de figura, una modificación del trazo de contorno (pasando a ser de línea discontinua) y un degradado de color sugiriendo la salida del contenido de la célula (Tomado de Hickman et al., 2006). 261

Figura 100: Diferenciación de elementos utilizando varios colores (Tomado de Paniagua et al., 2007). 263

Figura 101: Diferenciación de elementos mediante el uso de diferentes figuras y colores (Tomado de Paniagua et al., 2007). 264

Figura 102: Diferenciación de elementos mediante textura decorativa en imagen monocromática. 265

Figura 103: Rotulación mediante líneas rectas. La rotulación de más de un elemento con el mismo texto se realiza por medio de líneas divergentes (Tomado de Hickman et al., 2006).....	266
Figura 104: Rotulación mediante líneas quebradas con un ángulo de 45° (Tomado de König y Liebich, 2005).	267
Figura 105: Rotulación de tres elementos semejantes mediante líneas divergentes de ángulo variable en sistema de rotulación de línea quebrada (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	268
Figura 106: Rotulación de elementos mediante llaves (Tomado de Guyton y Hall, 2006).....	268
Figura 107: Rotulación de cuatro elementos semejantes mediante líneas paralelas en serie. Las terminaciones de las líneas tienen forma de punto (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).	269
Figura 108: Rotulación de elementos mediante un lazo (Tomado de Hickman et al., 2006).....	270
Figura 109: Ilustración rotulada mediante texto situado sobre la estructura o en sus inmediaciones. En algunos casos se han utilizado abreviaturas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	270
Figura 110: Diferenciación de elementos por medio de leyendas (Tomado de König y Liebich, 2005).	271
Figura 111: Referencias alfabéticas descritas en el pie de la ilustración (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	272

Figura 112: Representación de división con diferentes tipos de flechas. Arriba, mediante flechas de direcciones divergentes. Abajo, mediante flechas únicas que posteriormente se dividen en dos (Tomado de Paniagua et al., 2007). 274

Figura 113: Representación de división mediante una secuencia de ilustraciones ordenada alfabéticamente (Tomado de Guyton y Hall, 2006). 275

Figura 114: Representación de distintas formas de calor mediante flechas (Tomado de Guyton y Hall, 2006). 276

Figura 115: Representación de luz mediante flechas de trazo ondulado (Tomado de Nelson y Cox, 2009). 277

Figura 116: Marcha de rayos de luz representada mediante múltiples líneas (Tomado de Guyton y Hall, 2006). 277

Figura 117: Representación de un haz de luz mediante líneas de contorno y color de relleno (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005). 278

Figura 118: Representación de luz mediante forma radiante y color amarillo (Tomado de Nelson y Cox, 2009). 279

Figura 119: Conducción de estímulo eléctrico representada mediante flechas, en combinación con símbolos “+” y “-” (Tomado de Hickman et al., 2006). 280

Figura 120: Fragmento de figura en la que se muestra la corriente eléctrica de un aparato mediante una línea en zigzag (Tomado de Nelson y Cox, 2009). 280

Figura 121: Representación de liberación de energía mediante forma radiante (Tomado de Hickman et al., 2006). 281

Figura 122: Cladograma (Tomado de Hickman et al., 2006).....	283
Figura 123: Representación del origen de células sanguíneas mediante un diagrama de árbol (Tomado de Guyton y Hall, 2006).....	284
Figura 124: Representación realista (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).....	287
Figura 125: Representación a escala de distintos modelos conservando la proporción real entre ellos (Tomado de Hickman et al., 2006).....	288
Figura 126: Representación esquemática (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	289
Figura 127: Representación anatómica de un elemento simétrico omitiendo una de sus mitades (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).	290
Figura 128: Representación de volumen mediante traslapo. Cuando una estructura está parcialmente unida a otra, esta circunstancia suele sugerirse mediante la interrupción del trazo en la zona de contacto.	291
Figura 129: Representación esquemática alterando la proporción de los modelos e igualando sus tamaños para facilitar su valoración conjunta (Tomado de Hickman et al., 2006).....	293
Figura 130: Principales variantes encontradas para la representación de vista ampliada.	294
Figura 131: Vista en detalle especificada mediante dos marcos unidos por una flecha de grosor creciente (Tomado de Hickman et al., 2006).....	295
Figura 132: Ilustración en la que se ha omitido cualquier alusión a la sección representada (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).....	297

Figura 133: Ilustración en la que se ha seccionado mediante un plano frontal una parte del modelo, conservando la otra mitad. No se hace ninguna referencia al corte efectuado. Éste se deduce comparando ambas partes. (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005). 298

Figura 134: Representación de una sección indicada únicamente en el pie de la figura (Tomado de Hickman et al., 2006). 299

Figura 135: Representación del plano de corte y de la sección en detalle. Sobre esta última se realiza una nueva sección indicada por un marco que también se muestra en vista ampliada (Tomado de Hickman et al., 2006). 299

Figura 136: Planos de corte indicados por líneas de trazo y punto con terminación en punta de flecha señalando la representación de la sección correspondiente(A y C). Plano de corte en perspectiva y visto desde arriba mostrando la correspondencia entre las áreas seccionadas del modelo (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005). 300

Figura 137: Efecto de transparencia creado mediante mezcla sustractiva de los colores de los elementos superpuestos y trazado del contorno oculto en línea discontinua (Tomado de Hickman et al., 2006). 302

Figura 138: Abatimiento de un músculo seccionado en uno de sus extremos y desplazamiento mediante tracción de un nervio y una vena. En ambos casos se usan ganchos para indicar que su posición ha sido modificada mediante manipulación (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008). 303

Figura 139: Utilización de una flecha para poner de manifiesto la existencia de una cavidad oculta por una estructura ósea (Fragmento tomado de Rouvière y Delmas, 2008).	304
Figura 140: Distintas variantes para expresar desplazamiento de un cuerpo de un punto a otro.....	306
Figura 141: Representación de desplazamiento mediante el uso de flechas y la repetición del elemento en movimiento en una nueva posición (Tomado de Hickman et al., 2006).....	306
Figura 142: Representación del desplazamiento de elementos mediante el uso de estelas y flechas (Tomado de Junqueira y Carneiro, 2005).	307
Figura 143: Representación de un movimiento de giro mediante flechas. En este caso concreto también se usa una secuencia de imágenes (unidas por una flecha) para indicar el aspecto anterior y posterior al giro (Tomado de Nelson y Cox, 2009).....	309
Figura 144: Representación de movimiento de giro mediante flechas tangentes a la trayectoria (Tomado de Hickman et al., 2006).....	310
Figura 145: Representación del movimiento de giro de un objeto mediante la repetición del mismo en su posición inicial y final (Tomado de Rouvière y Delmas, 2008).	311
Figura 146: Flujo representado mediante flecha ancha (Tomado de Nelson y Cox, 2009).....	312

Figura 147: Representación de flujo mediante flechas en serie (Tomado de Hickman et al., 2006)..... 313

Figura 148: Representación de flujo mediante flechas paralelas (Tomado de Hickman et al., 2006)..... 313

Figura 149: Representación de diferentes tipos de transporte de sustancias a través de membranas celulares. Las flechas discontinuas indican el paso de sustancias a través de la membrana celular por difusión, mientras que las flechas continuas indican transporte activo mediante una estructura que actúa a modo de bomba, introduciendo o sacando sustancias de la célula (representada con un círculo) (Tomado de Guyton y Hall, 2006)..... 315

Figura 150: Representación mediante flechas de diferentes tipos de transporte de sustancias a través de membranas celulares (Tomado de Nelson y Cox, 2009)..... 316

Figura 151: Representación de secreción mediante flechas y degradados de color (Tomado de Nelson y Cox, 2009)..... 317

Figura 152: Representación de secuencia temporal mediante la repetición de elementos con cambio de forma y de posición, ordenados y enlazados con flechas (Tomado de Brock et al., 2004)..... 319

Figura 153: Secuencia temporal en la que la disposición espacial de los elementos en sentido horario juega un papel destacado (Tomado de Nelson y Cox, 2009).
..... 320

Figura 154: Representación de secuencia temporal mediante textos descriptivos y repetición de elementos en diferente posición enlazados con flechas (Tomado de Brock et al., 2004).....	321
Figura 155: Transformación representada mediante cambio de textura (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	322
Figura 156: Representación de unión (acoplamiento de varios elementos) mediante flechas confluentes (Fragmento tomado de Paniagua et al., 2007).	323
Figura 157: Combinaciones de los recursos gráficos que han demostrado estar más consolidados por su uso en las ciencias que estudian los seres vivos, según los resultados del estudio. En ella se incluyen 16 de los 43 conceptos identificados.....	324
Figura 158: Figura que de una forma estricta podría catalogarse como diagrama debido a la relación establecida mediante flechas entre dos elementos representados (sol y lagarto) (Tomado de Hickman et al., 2006).....	332
Figura 159: Diagrama creado en un entorno concreto (citoplasma celular).....	333
Figura 160: Gráfica acompañada de ilustración que describe en forma de secuencia diferentes estados fisiológicos relacionados con determinados valores de la curva (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	339
Figura 161: Gráfica acompañada de una ilustración que muestra las estructuras anatómicas en las que se mide una determinada variable (Tomado de Cunningham y Klein, 2009).	340

Figura 162: Gráfica en la que una ilustración representa el animal que va a ser objeto de análisis en la gráfica. No centra totalmente el asunto tratado en ésta pero ofrece una aproximación temática al mismo (Tomado de Hickman et al., 2006)..... 341

Figura 163: Gráfica acompañada de una ilustración que explica un procedimiento experimental y sus efectos sobre la variable registrada (Tomado de Guyton y Hall, 2006). 341

Figura 164: Gráfica con ilustración integrada que muestra la distribución topográfica de una determinada variable (Tomado de Cunningham y Klein, 2009). 342

Figura 165: Gráfica con ilustraciones integradas que indica la relación entre determinados valores de la curva y los elementos simbolizados por éstas (Tomado de Cunningham y Klein, 2009)..... 343

Figura 166: Gráfica constituida por una ilustración que indica varios parámetros a la vez (espesor endometrial, anfractuosidad glandular y desintegración durante la menstruación) (Tomado de Guyton y Hall, 2006). 344

Figura 167: Gráfica con ilustraciones integradas con alto grado de esquematismo (Tomado de Cunningham y Klein, 2009)..... 344

Figura 168: Relación gráfica de fenómenos que tienen lugar de manera sincrónica. Las dos ilustraciones vinculadas a las gráficas muestran el aspecto morfológico de diferentes estructuras anatómicas correspondiente a cada estado de secreción hormonal (Tomado de Hickman et al., 2006). 346

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Adler, F. H., R. A. Moses, et al. (1994). Fisiología del ojo: aplicación clínica. Madrid, Mosby-Doyma libros, D.L.

Ansary, M. and A. el Nahas (2000). "Medical illustration in the UK: its current and potential role in medical education". J Audiov Media Med **23**(2): 69-72.

Aparici, R. and A. García (2008). Lectura de imágenes en la era digital. Madrid, Ediciones de la Torre.

Aparici, R., A. García, et al. (2002). La imagen. Madrid, Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Arnheim, R. (2001). Arte y percepción visual. Madrid, Alianza Editorial S. A.

Barlow, H. B., C. Blakemore, et al. (1967). "The neural mechanism of binocular depth discrimination". The Journal of Physiology **193**(2): 327-342.

Barthes, R. (1972). Retórica de la imagen, en: R. Barthes, C. Bremond, T. Todorov and C. Metz (Ed.). La semiología. Buenos Aires, Editorial tiempo contemporáneo: 127-140.

Berger, R. (1976). El conocimiento de la pintura. El arte de comprenderla. Barcelona, Noguer.

Bertin, J. (1967). Sémiologie graphique. Les diagrammes, les réseaux, les cartes. Paris. La Haye, Villars.

Bertin, J. (1983). Semiology of graphics: diagrams networks maps. Madison, WI, University of Wisconsin Press.

Biederman, I. (1987). "Recognition by components: a theory of human image understanding". Psychological Review **94**: 115-147.

Biederman, I. and E. E. Cooper (1991). "Evidence for complete translational and reflectional invariance in visual object recognition ". Perception **20**: 585-593.

Black, M. (1983). ¿Cómo representan las imágenes?, en: E. H. Gombrich, J. Hochberg and M. Black (Ed.). Arte, percepción y realidad. Barcelona, Paidós

Blake, R. and H. Hirsch (1975). "Deficits in binocular depth perception in cats after alternating monocular deprivation". Science **190**(4219): 1114-1116.

Blake, R. and H. R. Wilson (1991). "Neural models of stereoscopic vision". Trends in Neuroscience **14**: 445-452.

Bonin, S. (1975). Initiation a la graphique. París, Epi Editeurs.

Brinton, W. C. (1914). Graphical methods for presenting facts. New York, The Engineering Magazine Company.

Briscoe, M. H. (1996). Preparing scientific illustrations: a guide to better posters, presentations, and publications. San Francisco, Springer-Verlag New York, Inc.

Brockmann, R. J. (1991). "The unbearable distraction of color". IEEE Transactions on Professional Communication **34**(3): 153-159.

Brown, S. (2003). "Whither medical illustration?". Journal of Audiovisual Media in Medicine **26**(2): 67-69.

Bruce, V. and P. R. Green (1994). Percepción visual: manual de fisiología, psicología y ecología de la visión. Barcelona Paidós Ibérica.

Carney, R. and J. Levin (2002). "Pictorial illustrations still improve students' learning from text". Educational Psychology Review **14**(1): 5-25.

Carpenter, P. A. and P. Shah (1998). "A model of the perceptual and conceptual processes in graph comprehension". J. Exp. Psychol. Appl **4**: 75-100.

Carswell, C. M., C. Emery, et al. (1993). "Stimulus complexity and information integration in the spontaneous interpretation of line graphs". Appl. Cogn. Psychol. **7**: 341-357.

Carswell, C. M. and C. D. Wickens (1987). "Information integration and the object display. An interaction of task demands and display superiority". Ergonomics **30**(3): 511 - 527.

Cleveland, W., M. McGill, et al. (1988). "The shape parameter of a two-variable graph". Journal of American statistical association **83**: 289-300.

Cleveland, W. S. (1984). "Graphs in scientific publications". The American Statistician **38**(4): 261-269.

Cleveland, W. S. (1993). "A model for studying display methods of statistical graphics". Journal of Computational and Graphical Statistics **2**(4): 323-343.

Cleveland, W. S. and R. McGill (1984). "Graphical perception: theory, experimentation and application to the development of graphical methods". J. Am. Stat. Assoc. **77**: 541-547.

Cleveland, W. S. and R. McGill (1985). "Graphical perception and graphical methods for analyzing scientific data". Science **229**: 828-833.

Crespo, A. (1999). Organización perceptual y reconocimiento visual del objeto, en: E. Munar, J. Roselló and A. Sánchez-Cabaco (Ed.). Atención y percepción. Madrid, Alianza Editorial.

Cunningham, J. G. and B. G. Klein (2009). Fisiología veterinaria. Barcelona Elsevier.

- De la Flor, M. (2004). The digital biomedical illustration handbook. Hingham, Charles River Media.
- Diccionario de la lengua española. R. A. E. (2008). Madrid, Espasa.
- Diccionarios Oxford-Complutense: Biología (1998). Madrid, Editorial Complutense.
- Diccionarios Oxford-Complutense: Química (1999). Madrid, Editorial Complutense.
- Domínguez, E. (1993). Introducción a la psicología del arte. Madrid, Editorial Complutense.
- Dondis, D. A. (1976). La sintaxis de la imagen. Introducción al alfabeto visual. Barcelona, Gustavo Gili.
- Dorland: diccionario enciclopédico ilustrado de medicina (2005). Madrid Elsevier.
- Dugid, K. P. (2004). "The state of the profession". Journal of Audiovisual Media in Medicine **27**(1): 20-23.
- Eco, U. (1972). La estructura ausente. Barcelona, Lumen.
- Eco, U. (1977). Tratado de semiótica general. Barcelona, Lumen.
- Epstein, W. (1965). "Nonrelational judgments of size and distance". The American Journal of Psychology **78**(1): 120-123.
- Fischer, M. H. (2000). "Do irrelevant depth cues affect the comprehension of bar graphs?". Applied Cognitive Psychology **14**(2): 151-162.
- Freedman, E. G. and L. D. Smith (1996). "The role of data and theory in covariation assessment: Implications for the theory-ladenness of observation ". Journal of Mind and Behavior **17**: 321-343.
- Gattis, M. and K. J. Holyoak (1996). "Mapping conceptual to spatial relations in visual reasoning.". J Exp Psychol Learn Mem Cogn **22**(1): 231-239.
- Gibson, J. J. (1950). The perception of the visual word. Boston, Houghton Mifflin.
- Goldstein, E. B. (2006). Sensación y percepción. Madrid, Thomson editores Spain; Paraninfo, S.A.
- Gombrich, E. H. (1968). Meditaciones sobre un caballo de juguete Barcelona.
- Gombrich, E. H. (1975). "The mirror and the map". Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B. Biological Sciences **270**: 119-149.
- Gombrich, E. H. (1987). La imagen y el ojo: nuevos estudios sobre la psicología de la representación pictórica. Madrid, Alianza.
- Goody, J. (1992). Alfabetos y escritura, en: R. Williams (Ed.). Historia de la comunicación. Volumen 1. Del lenguaje a la escritura. Barcelona, Bosch.

Goody, J. and I. Watt (1996). Las consecuencias de la cultura escrita, en: J. Goody (Ed.). Cultura escrita en sociedades tradicionales. Barcelona, Gedisa: 39-82.

Greimas, A. J. and J. Courtés (1982). Semiótica. Diccionario razonado de la teoría del lenguaje. Madrid, Gredos.

Grupo μ (1993). Tratado del signo visual. Fuenlabrada (Madrid), Cátedra.

Guild of Natural Science Illustrators. "*Who we are: GSNi members discipline specialties*". Consulta 7 de enero de 2010, de <http://www.gnsi.org/whoweare/statistics/memspecl.html>.

Guthrie, J. T., S. Weber, et al. (1993). "Searching documents: cognitive processes and deficits in understanding graphs, tables and illustrations". Contemporary Educational Psychology **18**(2): 186-221.

Guyton, A. C. and J. E. Hall (2006). Tratado de fisiología médica. Madrid, Elsevier España.

Guyton, A. C. and J. E. Hall (2007). Tratado de fisiología médica. Madrid Elsevier.

Hall, V. C., J. Bailey, et al. (1997). "Can student-generated illustrations be worth ten thousand words?". Journal of Educational Psychology. **89**(4): 677-681.

Hickman, C. P., L. S. Roberts, et al. (2006). Principios integrales de zoología. Madrid McGraw-Hill Interamericana.

Hodges, E. (2003). The guild handbook of scientific illustration. 2nd Edition. New York, John Wiley & Sons.

Hubel, D. H. (1999). Ojo, cerebro y visión. Murcia, Servicio de publicaciones de la Universidad de Murcia.

Hubel, D. H. and T. N. Wiesel (1970). "Cells sensitive to binocular depth in area 18 of the macaque monkey cortex". Nature **225**: 41-42.

Ippolito, F. (2003). "The subtle beauty of art in the service of science". Nature **422**: 15.

Isenberg, T., N. Halper, et al. (2002). "Stylizing silhouettes at interactive rates: from silhouette edges to silhouette strokes". Computer Graphics Forum **21**(3): 249-258.

Jennings, D. L., T. M. Amabile, et al. (1982). Informal covariation assessment: data based versus theory based judgements, en: D. Kahneman, P. Slovic and A. Tversky (Ed.). Judgement under uncertainty: heuristics and biases. New York, Cambridge University Press: 211-230.

Jin, E. W. and S. K. Shevell (1996). "Color memory and color constancy". J. Opt. Soc. Am. A **13**(10): 1981-1991.

Johansson, G. (1975). "Visual motion perception". Scientific American **232**: 76-89.

Julesz, B. (1971). Foundations of cyclopean perception. Chicago, University of Chicago Press.

Junqueira, L. C. and J. Carneiro Histología básica Barcelona, Masson.

Kandinsky, W. (1984). Punto y línea sobre el plano: contribución al análisis de los elementos pictóricos. Barcelona, Barral-Labor.

Kandinsky, W. (2006). De lo espiritual en el arte: contribución al análisis de los elementos pictóricos. Buenos Aires, Editorial Paidós.

Kaput, J. J. (1987). Representation systems and mathematics. The notion of function as an example., en: C. Janvier (Ed.). Problems of representation in the teaching and learning of mathematics. Hillsdale, NJ Lawrence Erlbaum Associated: 19-26.

Kleffner, D. A. and V. S. Ramachandran (1992). "On the perception of shape from shading". Percept Psychophys **52**(1): 18-36.

Köhler, W. (1947). Gestalt psychology: an introduction to new concepts in modern psychology New York, Liveright Pub. Corp.

König, H. E. and H. G. Liebich (2005). Anatomía de los animales domésticos : texto y atlas en color. Tomo 2, Órganos, sistema circulatorio y sistema nervioso. Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana.

Kosslyn, S. (1989). "Understanding chart and graphs". Appl. Cogn. Psychol. **3**: 185-225.

Kosslyn, S. (1994). Elements of graph design. New York, Freeman.

Larkin, J. H. and H. A. Simon (1987). "Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words". Cognitive Science **11**: 65-99.

Lauer, T. W. and G. V. Post (1989). "Density in scatterplots and the estimation of correlation". Behaviour & Information Technology **8**(3): 235 - 244.

Leinhardt, G., O. Zaslavsky, et al. (1990). "Function, graphs and graphing: Tasks, learning and teaching". Review of educational research **60**: 1-64.

Lennie, P., J. Krauskopf, et al. (1990). "Chromatic mechanisms in striate cortex of macaque". J. Neurosci. **10**(2): 649-669.

Leventhal, A., K. Thompson, et al. (1995). "Concomitant sensitivity to orientation, direction, and color of cells in layers 2, 3, and 4 of monkey striate cortex". J. Neurosci. **15**(3): 1808-1818.

Levin, J. (1981). On functions of pictures in prose, en: F. Pirozzolo and M. Wittrock (Ed.). Neuropsychological and Cognitive Processes in Reading New York, Academic Press: 203-228.

Levin, J. and R. Mayer (1993). Understanding illustrations in text, en: B. Britton, A. Woodward and M. Brinkley (Ed.). Learning from Textbooks. Hillsdale, Erlbaum: 95-113.

Levin, J. R., G. L. Anglin, et al. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose, en: D. M. Willows and H. A. Houghton (Ed.). The Psychology of Illustration: Basic Research. New York, Springer. 1: 51-85.

Levy, E., J. Zacks, et al. (1996). Gratuitous graphics? Putting preferences in perspective. Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: common ground. Vancouver, British Columbia, Canada, ACM.

Lewandowsky, S. and J. Behrens (1999). Statistical graphs and maps, en: F. Durso, R. S. Nickerson, R. W. Schvaneveldt et al (Ed.). Handbook of Applied Cognition. Chichester, England, Wiley & Song: 513-549.

Livingstone, M. and D. Hubel (1988). "Segregation of form, color, movement and depth: Anatomy, physiology, and perception". Science **240**: 740-749.

Lohse, G. L. (1993). "A cognitive model for understanding graphical perception". Hum.-Comput. Interact. **8**(4): 353-388.

Lord, C. G., L. Ross, et al. (1979). "Biased assimilation and attitude polarization: The effects of prior theories on subsequently considered evidence". Journal of Personality and Social Psychology **37**(11): 2098-2109.

Macdonald-Ross, M. (1977). "Graphics in text". Rev Res Educ **5**: 49-85.

Madigan, M. T., J. M. Martinko, et al. (2004). Brock Biología de los microorganismos. Madrid Pearson-Prentice Hall.

Maldonado, T. (1975). Vanguardia y racionalidad. Barcelona, Gustavo Gili.

Malins, F. (1983). Mirar un cuadro. Madrid, Herman Blume Ediciones.

Marr, D. (1982). Vision. San Francisco, W.H. Freeman.

Martin, T. J. and J. J. Corbett (2001). Neurooftalmología. Madrid, Ediciones Harcourt.

Mayer, R. E. (1993). "Comprehension of graphics in texts: An overview". Learning and Instruction **3**(3): 239-245.

Mayer, R. E. and J. K. Gallini (1990). "When is an illustration worth the thousand words?". Journal of Educational Psychology **82**(4): 715-726.

Mead, M. (1997). Cultura y compromiso. Estudio sobre la ruptura generacional. Barcelona, Gedisa.

Medical Artist Association of Great Britain. "Medical Artist Association specialties". Consulta 7 de enero de 2010, de <http://www.maa.org.uk/skillsandservices.htm>.

Merwin, D. H., M. A. Vincow, et al. (1994). "Visual analysis of scientific data: Comparison of 3D-topographic, color and gray scale displays in a feature detection task". Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings **38**: 240-244.

- Moles, A. (1975). La comunicación y los mass media. Bilbao, Editorial Mensajero.
- Mollon, J. D. (1989). "'Tho' she knee'd in that place where they grew... ': the uses and origins of primate colour vision". Journal of Experimental Psychology **146**: 21-38.
- Mollon, J. D. (2000). "Cherries among the leaves": The evolutionary origins of colour vision, en: S. Davis (Ed.). Colour Perception: Philosophical, Psychological, Artistic, and Computational Perspectives. USA, Oxford University Press: 10-30.
- Montserrat, J. (2008). La percepción visual: la arquitectura del psiquismo desde el enfoque de la percepción visual Madrid Biblioteca Nueva.
- Morris, C. (1985). Fundamentos de la teoría de los signos. Barcelona Paidós.
- Morton, R., J. Nicholls, et al. (2000). "The changing role of the medical illustrator". Journal of Audiovisual Media in Medicine **23**(2): 65-8.
- Müller-Brockmann, J. (2005). Historia de la comunicación visual. Barcelona, Gustavo Gili.
- Munari, B. (1985). Diseño y comunicación visual. Contribución a una metodología didáctica. Barcelona, Gustavo Gili.
- Nelson, D. L. and M. M. Cox (2009). Lehninger: principios de bioquímica. Barcelona Omega.
- Nicholls, J. G. and A. R. Martin (2001). From neuron to brain. Sunderland, Sinauer Associates.
- Ohzawa, I. (1998). "Mechanisms of stereoscopic vision: the disparity energy model". Current Opinion in Neurobiology **8**: 509-515.
- Ollerenshaw, R. (2000). "Medical illustration: the impact of photography on its history". Journal of Biocommunication **27**(2): 2-8.
- Ottino, J. (2003). "Is a picture worth 1000 words?". Nature **421**: 474-476.
- Palek, B. (1986). "The map: Its signs and their relations". Semiotica **59**(1-2): 13-34.
- Palmer, S. E. (1992). "Common region: a new principle of perceptual grouping". Cognitive Psychology **24**: 436-447.
- Palmer, S. E. and I. Rock (1994). "Rethinking perceptual organization: The role of uniform connectedness". Psychonomic Bulletin and Review **1**(1): 29-55.
- Paniagua, R., M. Nistal, et al. (2007). Biología celular. Madrid McGraw-Hill Interamericana.
- Peeck, J. (1993). "Increasing picture effects in learning from illustrated text". Learning and Instruction **3**: 227-238.
- Peirce, C. S. (1931). Collected papers. Cambridge, Harvard University Press.

Peirce, C. S. (1987). Obra lógica-semiótica. Madrid, Taurus.

Peterson, M. A. (1994). "Object recognition processes can and do operate before figure-ground organization". Current Directions in Psychological Science **3**: 105-111.

Phillips, R. J. (1982). "An experimental investigation of layer tints for relief maps in school atlases". Ergonomics **25**: 1143-1154.

Pinker, S. (1990). A theory of graph comprehension, en: R. Freedle (Ed.). Artificial intelligence and the future of testing. Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, Inc: 73-126.

Ratner, C. and J. McCarthy (1990). "Ecologically relevant stimuli and color memory". J Gen Psychol **117**(4): 369-377.

Ray, S. F. (1999). Scientific photography and applied imaging Oxford, Focal Press.

Rodríguez, S. and J. M. Smith Ágreda (2004). Anatomía de los órganos del lenguaje, visión y audición. Buenos Aires, Panamericana.

Rouvière, H. and A. Delmas (2008). Anatomía humana : descriptiva, topográfica y funcional. Tomo 1, Cabeza y cuello Barcelona Masson.

Ruiz-Primo, M. A. and R. J. Shavelson (1996). "Problems and issues in the use of concept maps in science assessment". Journal of Research in Science Teaching **33**(6): 569-600.

Saint-Martin, F. (1987). Sémiologie du langage visuel. Québec, Presses de l'Université du Québec.

Santaella, L. and W. Nöth (2003). Imagen. Comunicación, semiótica y medios. Kassel, Edition Reichenberger.

Sanz, J. C. (1996). El libro de la imagen. Madrid, Alianza Editorial.

Schein, S. and R. Desimone (1990). "Spectral properties of V4 neurons in the macaque". J. Neurosci. **10**(10): 3369-3389.

Schmid, C. F. and S. E. Schmid (1979). Handbook of graphics presentation. New York, Wiley & Sons.

Schriger, D. L. and R. J. Cooper "Achieving graphical excellence". Annals of emergency medicine **37**(1): 75-87.

Shah, P. and J. Hoeffner (2002). "Review of graph comprehension research: Implications for instruction". Educational Psychology Review **14**: 47-69.

Shah, P., R. E. Mayer, et al. (1999). "Graphs as aids to knowledge constructions: Signaling techniques for guiding the process of graph comprehension". J. Educ. Psychol. **91**: 690-702.

Sinai, M. J., T. L. Ooi, et al. (1998). "Terrain influences the accurate judgement of distance". Nature **395**: 497-500.

Sonesson, G. (1989). Pictorial concepts. Inquiries into the semiotic heritage and its relevance for the analysis of the visual world. Lund, Lund University Press.

Sousa, M. C. and P. Prusinkiewicz (2003). "A few good lines: suggestive drawing of 3D models". Computer Graphics Forum **22**(3): 381-390.

Stenning, K. and J. Oberlander (1995). "A cognitive theory of graphical and linguistic reasoning: Logic and implementation". Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal **19**(1): 97 - 140.

The Association of Medical Illustrators. "Medical illustration: questions & answers ". Consulta 7 de enero de 2010, de <http://www.ami.org/medical-illustration/questions--answers.html>.

Treisman, A. (1986). "Features and objects in visual processing". Scientific American **255**(5): 114-125.

Treisman, A. and G. Gelade (1980). "A feature integration theory of attention". Cognitive Psychology **12**: 97-136.

Tsafir, J. and A. Ohry (2001). "Medical illustration: from caves to cyberspace". Health Information and Libraries Journal **18**: 99-109.

Tubergen, D. and B. C. Manegold (1993). "Electronic photography: a new age of medical imaging?". Journal of Audiovisual Media in Medicine **16**(3): 123-8.

Tufte, E. R. (1983). The visual display of quantitative information Cheshire, CT, Graphics Press.

Uchikawa, K., H. Uchikawa, et al. (1989). "Partial color constancy of isolated surface colors examined by a color-naming method". Perception **18**(1): 83-91.

US Bureau of Labor Statistics. "Occupational Outlook Handbook 2010-11 Edition: Artist and related workers". Consulta 7 de enero de 2010, de <http://www.bls.gov/oco/ocos092.htm>.

Villafañe, J. and N. Mínguez (2006). Principios de teoría general de la imagen. Madrid, Ediciones Pirámide.

Wainer, H. (1980). Making newspaper graphs fit to print, en: H. Bouma, P. A. Kolers and M. E. Wrolsted (Ed.). Processing of visible language. New York, Plenum. **2**: 125-142.

Wainer, H. and D. Thissen (1981). "Graphical data analysis". Annual Review of Psychology **32**(1): 191-241.

Wallach, H. and O'Connell (1953). "Kinetic depth perception". Journal of Experimental Psychology **45**(205-217).

Walls, G. L. (1942). The vertebrate eye and its adaptive radiation. Michigan, The Cranbrook Press, Bloomfield Hills.

Ware, C. (2000). Information visualization: perception form design. San Francisco, Morgan Kaufman.

Wickens, C. D., D. H. Merwin, et al. (1994). "Implication of graphics enhancements for the visualization of scientific data: dimensional integrality, stereopsis, motion and mesh". Hum. Fact. **36**: 44-61.

Wilkinson, L. (1999). "Graphs for research in counseling psychology". The Counseling Psychologist **27**(3): 384-407.

Winn, B. (1987). Charts, graphs and diagrams in educational materials, en: D. Willows and H. A. Houghton (Ed.). The psychology of illustration. New York, Springer.

Wong, W. (2007). Fundamentos del diseño. Barcelona, Editorial Gustavo Gili, SL.

Zacks, J., E. Levy, et al. (1998). "Reading bar graphs: effects of extraneous depth cues and graphical context". Journal of Experimental Psychology: Applied **4**(2): 119-138.

Zacks, J. and B. Tversky (1999). "Bars and lines: a study of graphic communication". Mem Cogn **27**: 1073-1079.

Zeki (1990). "A century of cerebral achromatopsia". Brain **113**(6): 1721-1777.

Zeki, S., J. Watson, et al. (1991). "A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex". J. Neurosci. **11**(3): 641-649.

Zunzunegui, S. (1998). Pensar la imagen. Madrid, Cátedra.