

José Manuel Pereira Uzal

GESTIÓN DEL COLOR: CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MÉTODO



José Manuel Pereira Uzal

Gestión del color: ciencia, tecnología y método

No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Spanisch: El análisis automatizado del trabajo para obtener información en particular sobre patrones, tendencias y correlaciones ("minería de datos y textos") está prohibido.

© José Manuel Pereira Uzal, 2026

Producción y editorial:
BoD · [Books on Demand GmbH](#) Überseering 33,
22297 Hamburgo, Alemania

ISBN: 978-84-1092-582-3

Sobre este libro

La estructura de este libro parte de una exposición inicial de los conceptos fundamentales del color y de la gestión del color. Posteriormente, los contenidos se articulan en función de los principales tipos de dispositivos implicados en los flujos de reproducción: dispositivos de entrada, como cámaras y escáneres, y dispositivos de salida, como pantallas e impresoras. Esta decisión organizativa implica recuperar en diversos capítulos ciertas cuestiones transversales, cuando ello resulta necesario para la claridad del discurso. Al mismo tiempo, favorece una lectura modular, de modo que el libro pueda consultarse también de forma no secuencial, atendiendo a capítulos o problemas específicos. Dado que este libro no se plantea como un trabajo académico en sentido estricto, se ha evitado incorporar citas y referencias en el cuerpo del texto. No obstante, al final del volumen se incluye un apartado bibliográfico con las principales obras y recursos que han servido como base documental y técnica para su elaboración. Asimismo, a lo largo de este trabajo se mencionan diversas herramientas comerciales. Estas referencias no responden a ningún interés promocional ni implican beneficio alguno para el autor, sino a la necesidad práctica de disponer de herramientas concretas para el desarrollo de las tareas descritas. Las herramientas citadas corresponden a aquellas conocidas y utilizadas por el propio autor, sin perjuicio de que existan otras soluciones igualmente válidas que, por desconocimiento, falta de disponibilidad o ausencia de uso directo, no hayan sido incluidas. Entre las herramientas citadas se incluyen aplicaciones comerciales, soluciones gratuitas, proyectos de código abierto, programas con interfaz gráfica, utilidades por línea de comandos o simple código fuente. El control riguroso del color no debe concebirse como una operación dependiente de una única herramienta, sino como un conjunto de procedimientos adaptados a contextos técnicos muy diversos.

dark skin 39.83 10.21 7.13	light skin 61.11 19.68 13.29	blue sky 48.45 -4.80 -23.30	foliage 44.98 -10.57 12.25	blue flower 51.18 10.87 -28.75	bluish green 65.42 -33.66 -3.21
orange 60.23 38.88 48.11	purplish blue 40.90 1.46 -43.70	moderate red 50.90 46.87 12.57	purple 35.54 15.73 -19.07	yellow green 68.28 -24.05 44.24	orange yellow 67.84 24.80 54.84
blue 34.09 3.38 -40.51	green 53.75 -35.13 20.31	red 44.92 45.24 18.89	yellow 78.11 9.06 68.70	magenta 51.20 46.28 -15.72	cyan 49.24 -20.68 -28.98
white (0.10) 91.20 1.71 -2.05	neutral 8 (0.33) 74.73 -0.41 -6.05	neutral 6.5 (0.51) 62.46 -0.04 -5.04	neutral 5 (0.77) 48.72 0.66 -3.18	neutral 3.5 (1.02) 37.56 -0.39 -2.71	black 2 (1.24) 28.90 -0.71 -2.09

Colorimetría $L^*a^*b^*$ promedio, obtenida mediante medición física de las muestras cromáticas presentes en la portada de este libro. La disposición de dichas muestras responde a una organización colorimétrica próxima a la de una carta ColorChecker. En la escala densitométrica el valor entre paréntesis se corresponde con la densidad óptica. El lector puede descargar los archivos de referencia y otros materiales de la URL https://www.jpereira.net/recursos/portada_gc.zip

Cabe alertar que dichos datos colorimétricos no constituyen una referencia metrológica válida debido a las tolerancias del medio de impresión de este libro. Por tanto, solo deben ser usadas como una mera referencia didáctica para ejecutar ejercicios y otros cálculos en ausencia de otros medios.

Contenido

1	Introducción	1
	1.1.De la técnica al arte	1
	1.2.Remediación	2
	1.3.Neurociencia y Neuroestética	4
	1.4.Apariencia, color y percepción	6
	1.4.1 Color.....	7
	1.4.2 Textura	8
	1.4.3 Brillo	8
	1.4.4 Transparencia.....	9
2	El color	13
	2.1.Introducción	13
	2.2.La escena	14
	2.3.El observador	15
	2.4.La luz	17
	2.5.Temperatura de color	18
	2.6.Polarización	20
	2.7.Índices de reproducción cromática.....	21
	2.8.Metamerismo	26
3	La colorimetría	29
	3.1.Fundamentos	29
	3.2.Organización del color.....	30
	3.3.Colorimetría diferencial.....	32
	3.4.Vocabulario	37
	3.4.1 Brillo	37
	3.4.2 Claridad y luminosidad	37
	3.4.3 Luminancia	38
	3.4.4 Matiz.....	38
	3.4.5 Colorido, croma y saturación.....	38
	3.4.6 Luma.....	39
	3.5.Matrices de adaptación cromática	41
	3.6.Los modelos de apariencia	42

4	La reproducción tonal.....	45
4.1.	Introducción	45
4.2.	Densitometría	46
4.3.	Densidad óptica y codificación digital.....	50
4.4.	La OECF y la caracterización tonal de cámaras	53
4.5.	La sensitometría	55
4.6.	Captura, procesado y referencia tonal	56
4.7.	La gamma	57
4.7.1	El gris medio.....	61
4.8.	Tipos de curvas.....	62
4.9.	Contraste.....	63
4.9.1	Contraste físico y contraste percibido	64
4.9.2	Detalle y contraste	66
4.9.3	Expresión del contraste.....	68
4.10.	Flare	70
4.11.	Rango dinámico	72
5	Gestión del color	75
5.1.	Introducción	75
5.1.1	Asignar	77
5.1.2	Convertir	77
5.1.3	Simular.....	78
5.2.	Caracterización.....	80
5.2.1	Cartas de color	81
5.2.2	Densidad operativa en medios reflectivos	86
5.2.3	Archivos de referencia	90
5.2.4	Instrumentos de medida.....	95
5.2.5	Colorímetros	101
5.3.	Perfiles de color.....	101
5.3.1	Estructuras de transformación	103
5.3.2	Volumen de gama y precisión colorimétrica	108
5.3.3	Límites físicos y codificados de la gama	112
5.4.	Profile Connection Space	114
5.5.	Tone Reproduction Curve	114
5.6.	Transformación y CMM	121

5.7.Rendering intents	125
5.7.1 Propósito colorimétrico relativo	126
5.7.2 Propósito colorimétrico absoluto	126
5.7.3 Propósito perceptual	127
5.7.4 Propósito de saturación.....	127
5.7.5 Compensación de punto negro.....	129
5.8.ICC v2, v4 e iccMAX.....	130
6 Construcción de un perfil ICC	133
6.1.Introducción	133
6.2.De la referencia al dispositivo.....	133
6.3.Matrices	134
6.4.Color Lookup table	135
6.5.Generalización	137
6.6.Número y pertinencia de las muestras de color	138
6.7.Herramientas	141
7 Dispositivos de entrada	145
7.1.Espacios referidos a la escena o a la salida.....	145
7.1.1 Espacios referidos a la escena	146
7.1.2 Espacios referidos a la salida	146
7.1.3 Contraste, cromatismo y cambio de estado	148
7.2.El rol del ICC	148
7.3.Perfiles ICC para dispositivos de entrada	149
7.4.Arquitectura del perfil ICC de entrada.....	150
7.4.1 Perfiles de entrada shaper/matrix	150
7.4.2 Perfiles basados en LUT.....	152
7.4.3 Perfiles monocromos y multicomponente.....	152
7.4.4 Etiquetas y metadatos.....	152
7.5.Perfiles DCP de Adobe	153
7.5.1 Propósito inicial del DCP	154
7.5.2 DCP y estado de imagen.....	154
7.5.3 Anatomía del DCP	155
7.5.4 Matrices de caracterización.....	155
7.5.5 Tablas HSV de corrección cromática	156
7.5.6 LookTable	157

7.5.7	ToneCurve	157
7.5.8	Parámetros auxiliares	159
7.5.9	Del perfil matricial simple al DCP completo.....	159
7.5.10	El DCP y el operador tonal de Adobe	160
7.6.	Implementación de los DCP	161
7.6.1	Implicaciones tecnológicas del DCP	162
7.7.	Tratamiento del punto blanco	163
7.8.	construcción de perfiles de entrada	166
7.8.1	Fundamentos del perfilado de entrada	167
7.8.2	Condiciones previas del entorno	168
7.8.3	Caracterización de una cámara digital	169
7.8.4	Caracterización de un escáner	170
7.8.5	Construcción del perfil ICC.....	171
7.8.6	Validación metrológica	171
7.9.	Normas y recomendaciones en digitalización	172

8 Pantallas 173

8.1.	Introducción	173
8.1.1	Arquitectura básica de un TFT-LCD	174
8.1.2	Modos electroópticos del LCD	176
8.1.3	Retroiluminación	178
8.1.4	Atenuación global y local	180
8.1.5	OLED	181
8.1.6	Capacidad de reproducción del color.....	182
8.2.	Contraste físico y percibido.....	184
8.3.	Evaluación y gestión del color	186
8.4.	Normativas ISO.....	188
8.4.1	Marco general	188
8.4.2	ISO 3664	189
8.4.3	ISO 12646.....	192
8.4.4	Condiciones ambientales	193
8.4.5	Blanco, negro y luminancia del monitor.....	193
8.4.6	Gamma y exactitud colorimétrica	194
8.4.7	Uniformidad y gamut.....	194
8.5.	Observaciones al uso de D50	195
8.6.	Procedimiento para el perfilado de monitores	197

8.6.1	Definición de condiciones de observación y objetivos ..	197
8.6.2	Calibración previa del monitor.....	199
8.6.3	Generación del conjunto de muestras (patch-set)	199
8.6.4	Medición espectrofotométrica o colorimétrica	201
8.6.5	Construcción del modelo de perfil	201
8.6.6	Validación del perfil.....	202
9	Impresión	203
9.1.	Introducción	203
9.2.	Fundamentos de la impresión CMYK	204
9.3.	Fundamentos de la impresión inkjet	206
9.3.1	Fundamentos de la inyección piezoeléctrica	206
9.3.2	Fundamentos y propiedades de las tintas.....	207
9.3.3	Papeles para inkjet	208
9.4.	Perfiles para impresión inkjet.....	211
9.5.	Softproof y hardproof.....	216
9.5.1	Simular papel y tinta	221
9.6.	Imagen y rango tonal imprimible	223
9.7.	Consideraciones al punto negro en el ICC	229
9.8.	Adecuación entre imagen e impresión	233
9.8.1	Detección de regiones en subumbral	238
9.9.	Patologías de la copia impresa.....	240
9.9.1	Sangrado.....	240
9.9.2	Coalescencia.....	240
9.9.3	Moteado	240
9.9.4	Bronzing.....	241
9.9.5	Acumulación excesiva de tinta	241
9.9.6	Falta de densidad	241
9.9.7	Pérdida de definición	241
9.10.	Procedimiento de perfilado de impresoras.....	242
9.10.1	Definir la condición de impresión.....	242
9.10.1	Estabilizar y calibrar el sistema	243
9.10.2	Seleccionar la condición de medida.....	245
9.10.3	Elegir la carta de caracterización	245
9.10.4	Imprimir la carta sin gestión de color añadida	247
9.10.5	Secado, estabilización y acondicionamiento.....	247

9.10.6	Medir la carta	248
9.10.7	Construir el perfil ICC	249
9.10.8	Propósitos de reproducción	252
9.10.9	Nombrar, documentar e instalar el perfil.....	252
9.10.10	Revisar el perfil antes de usarlo	253
9.10.11	Validar con una carta independiente	254
9.10.12	Optimizar el perfil si existen colores críticos.....	255
9.10.13	Aplicar el perfil en producción	255
9.10.14	Control de proceso y mantenimiento	256

10 Análisis de la calidad 259

10.1.	Fundamentos.....	259
10.2.	Estándares y calidad	260
10.3.	Calidad en gestión del color	264
10.3.1	Evaluación colorimétrica de perfiles ICC	264
10.3.2	A2B, B2A y round trip.....	265
10.3.3	Precisión, interpolación y estructura de las LUT	268
10.3.4	Suavidad, continuidad y artefactos visuales.....	269
10.4.	Propósitos colorimétricos y análisis de la calidad	271
10.5.	Herramientas para análisis de imagen.....	271

Prólogo

La presente obra constituye un intento de articulación entre ciencia y tecnología en torno al color y a los múltiples dispositivos y procedimientos mediante los cuales este es captado, procesado, reproducido y evaluado. Conviene señalar, ante todo, que la tecnología no debe entenderse como una simple consecuencia mecánica de la ciencia. La tecnología es una respuesta operativa a problemas concretos, y esa respuesta puede surgir tanto de un conocimiento científicamente formalizado como de una práctica técnica anterior a su plena explicación teórica. Dicho de otro modo, es posible desarrollar tecnología sin una formulación científica completa previa; pero también es cierto que la propia práctica tecnológica genera problemas, observaciones y regularidades que alimentan el desarrollo de la ciencia.

Desde esta perspectiva, la gestión del color no nace como una disciplina abstracta, sino como una necesidad histórica de las tecnologías de la imagen, especialmente de la fotografía, el cine, el vídeo, la impresión y, más recientemente, de los sistemas digitales de captura, visualización y reproducción. En todos estos ámbitos, el problema fundamental consiste en preservar, transformar o reconstruir de manera controlada una apariencia cromática a través de dispositivos heterogéneos. Ahora bien, estas tecnologías modernas no se sostienen primariamente sobre formulaciones científicas explícitas en cada una de sus operaciones cotidianas, sino sobre estándares, normas industriales, convenciones técnicas y procedimientos de ingeniería cuyo propósito inmediato es garantizar interoperabilidad, estabilidad y resultados funcionalmente aceptables entre fabricantes, programas y equipos distintos.

Por ello, cámaras, monitores, impresoras, escáneres o aplicaciones de procesamiento de imagen no se utilizan, en la práctica ordinaria, como si fueran instrumentos científicos en sentido estricto, sino como sistemas técnicos regulados por especificaciones, perfiles, espacios de color, algoritmos y flujos de trabajo más o menos normalizados. Sin embargo, esta dimensión operativa no implica ausencia de fundamento teórico o una aproximación desde una mirada científica.

Muy al contrario: cuanto más se pretende comprender la gestión del color con rigor, más evidente resulta la necesidad de adentrarse en los principios de la colorimetría, la fotometría, la visión humana, la apariencia del color, la física de la luz y la arquitectura tecnológica de los dispositivos involucrados. Sin ese trasfondo, la práctica queda reducida a una sucesión de recetas o trucos, que como magos ejecutamos en un *show* para deleite de nuestros clientes.

Es probable que parte de los lectores espere encontrar en estas páginas un manual inmediato, orientado a resolver “paso a paso” las incidencias cotidianas de un flujo de trabajo. Sin embargo, la experiencia editorial en el ámbito de la imagen digital ha mostrado repetidamente la fragilidad de esa expectativa. La rápida transformación del mercado, la continua renovación del software, la obsolescencia de los dispositivos y la variabilidad de las interfaces convierten cualquier receta en un conocimiento efímero. Un texto centrado exclusivamente en procedimientos particulares, o mero manual de instrucciones, corre así el riesgo de envejecer al mismo ritmo que las herramientas que describe. En un campo como la gestión del color, donde convergen fenómenos perceptivos, condicionantes físicos, criterios normativos y soluciones de ingeniería, reducir la explicación a una secuencia de acciones instrumentales equivale, en buena medida, a trivializar o banalizar de forma amplia el problema.

La reproducción del color no constituye un dominio simple ni enteramente transparente fruto de las decisiones operativas y comerciales de cada fabricante de *software*. Se trata de un campo en el que interactúan variables espectrales, espaciales, perceptivas, materiales, computacionales y no pocos intereses comerciales, a menudo de forma no intuitiva fruto de este sustento tecnológico cerrado de la gran mayoría de fabricantes. Por ello, una simplificación excesiva no solo empobrece la comprensión, sino que con frecuencia impide identificar adecuadamente el origen de los errores y, por tanto, su posible corrección. Allí donde el problema es estructuralmente complejo, la claridad expositiva no debe confundirse con reducción conceptual. Es decir, no cualquier procedimiento se puede simplificar infinitamente sin caer en el error.

Este trabajo se sitúa, precisamente, en ese trance, su propósito no es ofrecer un repertorio de trucos ni una colección de soluciones rápidas, sino examinar con la mayor claridad posible los fundamentos que hacen inteligible la gestión del color como problema técnico y científico. A lo largo de sus páginas se reflexiona sobre los factores que intervienen en la constancia, la variabilidad y la reproducción del color dentro de nuestros sistemas de trabajo, atendiendo tanto a las bases físicas y perceptivas como a las mediaciones tecnológicas que las hacen operativas. El objetivo último es que el lector pueda comprender por qué ocurren ciertos fenómenos, qué límites imponen los dispositivos, qué papel desempeñan las normas y qué consecuencias tienen las decisiones adoptadas en cada etapa del flujo de imagen.

En suma, esta obra aspira a proporcionar un marco de comprensión riguroso que permita sustituir la confianza en la intuición o en soluciones meramente empíricas por un criterio mejor fundamentado. Solo desde esa comprensión es posible tomar decisiones técnicas más estables, más justificables y, en último término, más eficaces en el ámbito de la reproducción del color.

Tabla de acrónimos

ASTM	American Society for Testing and Materials
BPC	Black Point Compensation
CCFL	Cold Cathode Fluorescent Lamp
CCT	Correlated Colour Temperature
CGATS	Committee for Graphic Arts Technologies Standards
CIE	Commission internationale de l'éclairage
CIS	Contact Image Sensor
CMM	Color Management Module
CMS	Color Management System
CQS	Color Quality Scale
CRI	Color Rendering Index Ra
CRT	Cathode Ray Tube
CxF	Color Exchange Format
DCP	DNG Camera Profile
Dmin y Dmax	Densidad máxima y mínima
DNG	Digital Negative (Adobe)
EBU	European Broadcasting Union
EV	Exposure Value
FFS	Fringe Field Switching
FWA	Fluorescent Whitening Agents
GCR	Gray Component Replacement
HSV	Hue Saturation Value
ICC	International Color Consortium
IPS	In-Plane Switching
JND	Just-Noticeable Difference
LED	Light-emitting diode
MVA	Multi-domain Vertical Alignment
MTF	Modulation Transfer Function

NTSC	National Television System Committee
OBA	Optical Brightening Agents
OECF	Opto-Electronic Conversion Function
OLED	Organic Light-Emitting Diode
RC	Resin Coated (papel)
RIP	Raster Image Processor
SPD	Spectral Power Distribution
TAC	Total Area Coverage
TFT-LCD	Thin Film Transistor - Liquid Crystal Display
TLCI	Television Lighting Consistency Index
TN	Twisted Nematic
TRC	Tone Reproduction Curves
UV	Ultravioleta
VA	Vertical Alignment
XML	eXtensible Markup Language
$\Delta E, \Delta E^*_{ab}$	Delta-e, Delta-e CIE76

1 Introducción

1.1.DE LA TÉCNICA AL ARTE

Desde esta perspectiva, la gestión del color puede entenderse como una práctica epistemológica. Su función no consiste únicamente en corregir colores, sino en decidir qué relación queremos establecer entre imagen, mundo y observador. Cada elección cromática, cada perfil, cada espacio de color, cada adaptación al medio de salida y cada condición de visualización configuran una determinada política de la apariencia. No se trata solo de que los colores “se vean bien”, sino de definir en qué sentido deben corresponder con un original, con una escena, con una memoria visual o con una intención expresiva.

En los contextos documentales, científicos o patrimoniales, esta dimensión epistemológica se manifiesta como exigencia de trazabilidad. En los contextos artísticos, la cuestión no desaparece; simplemente se vuelve más compleja. También allí es necesario saber si se persigue una fidelidad física, una equivalencia perceptiva, una traducción material o una reinterpretación deliberada. La gestión del color no limita la libertad creativa; le proporciona un marco de inteligibilidad.

Comprender esto modifica el lugar mismo de la técnica dentro de la práctica visual. La técnica deja de ser un conjunto de procedimientos subordinados a un resultado estético y pasa a ser una forma de conocimiento del medio. La ciencia deja de ser un repertorio externo de validaciones y se convierte en una disciplina que permite evaluar la consistencia de nuestras decisiones. Y la filosofía deja de ser una reflexión abstracta ajena a la producción de imágenes para revelarse como un instrumento crítico que permite discernir qué se gana y qué se pierde en cada mediación.

En consecuencia, una cultura rigurosa de la imagen no puede conformarse ni con el virtuosismo instrumental ni con la intuición estética aislada.

Requiere una comprensión integrada de dispositivos, modelos perceptivos, procesos materiales y marcos conceptuales. Solo así la imagen deja de ser una superficie fascinante pero opaca y se convierte en un campo de operaciones inteligibles. Ese es, en último término, el sentido profundo de una teoría de la imagen a la altura de la gestión del color: no simplemente producir apariencias convincentes, sino comprender con precisión qué clase de mundo visual estamos construyendo cuando producimos, corregimos, preservamos o contemplamos una imagen

1.2.REMEDIACIÓN

La circulación contemporánea de las imágenes obliga a ampliar el marco clásico de la gestión del color. Ya no basta con entender la reproducción como una mera transferencia de valores entre dispositivos; resulta más preciso concebirla como un proceso de remediación, en el que cada nuevo medio reinterpreta, reorganiza y reformula las imágenes heredadas de medios anteriores. En este sentido, la imagen digital no constituye una entidad estable que se desplaza intacta de un soporte a otro, sino un objeto mutable cuya forma visible depende de la lógica técnica, cultural y perceptiva del medio de destino. Bolter y Grusin¹ describen este fenómeno al señalar que los nuevos medios se presentan como versiones refaccionadas y supuestamente mejoradas de los medios precedentes. Esa idea resulta especialmente fecunda para la gestión del color, porque permite comprender que toda migración de una imagen desde una escena, una pantalla, una impresión o una interfaz móvil implica una renegociación de su apariencia.

Desde esta perspectiva, la apariencia del color deja de ser una cuestión secundaria y pasa a ocupar una posición central. La colorimetría clásica fue concebida para determinar igualdades de estímulo bajo condiciones de observación estrictamente definidas; sin embargo, la coincidencia de coordenadas tristímulo no garantiza por sí sola una coincidencia perceptiva cuando cambian el medio, el entorno o el modo de visión.

¹ Bolter, J. D., & Grusin, R. (2002). *Remediation: Understanding new media* (5. pr). MIT Press.

Un monitor emisor y una copia impresa reflectante pueden compartir una misma descripción colorimétrica y, aun así, producir impresiones visuales claramente distintas, porque intervienen factores como la adaptación cromática, la luminancia de fondo, el tipo de iluminación, el entorno circundante y la estructura espacial de la imagen. Por ello, la reproducción rigurosa exige considerar no solo qué valores tiene una imagen, sino cómo será vista en un contexto concreto.

La teoría de los nuevos medios refuerza esta conclusión. Manovich² subraya que la imagen computacional posee una doble condición: es, a la vez, superficie visible y código operable. Esa doble naturaleza hace posible que una misma imagen exista en múltiples versiones, variando en resolución, color, compresión, escala, composición e incluso función, pues en el entorno digital la imagen ya no actúa únicamente como representación, sino también como interfaz.

En consecuencia, cuando una imagen cambia de medio no solo cambia su soporte material: cambian también sus posibilidades de manipulación, sus condiciones de lectura y la economía perceptiva en la que adquiere sentido. La remediación no consiste entonces en trasladar una apariencia idéntica en sentido absoluto, sino en construir una equivalencia funcional y perceptiva entre situaciones de visualización heterogéneas.

Bajo esta idea, la gestión del color puede entenderse como una disciplina de mediación entre apariencias. Su objetivo no es conservar de manera obsesiva unos números, sino preservar, transformar o reconstruir relaciones perceptivas cuando una imagen pasa de un régimen visual a otro. Tal tarea implica reajustar gama tonal, contraste, matiz, punto blanco, luminancia, *surround* (entorno), gama y, en muchos casos, la propia intención de la imagen. La fidelidad, por tanto, no reside en la inmovilidad del dato, sino en la pertinencia de la readecuación. En un ecosistema visual dominado por pantallas, impresiones, proyecciones e interfaces híbridas, reproducir una imagen significa siempre reinscribirla en un nuevo medio y en una nueva situación de visión.

² Manovich, L. (2013). *Software takes command: Extending the language of new media*. Bloomsbury.

La gestión del color, entendida desde la apariencia y la remediación, deja así de ser un problema exclusivamente técnico para revelarse como una teoría práctica de la traducción visual entre mundos materiales y perceptivos distintos.

1.3.NEUROCIENCIA Y NEUROESTÉTICA

Desde la neurociencia, la visión del color no debe entenderse como una simple captura pasiva de longitudes de onda, sino como una transformación jerárquica de señales físicas en experiencia perceptiva. El proceso comienza en la retina, donde los conos S, M y L responden con máxima sensibilidad, respectivamente, a regiones corta, media y larga del espectro visible. Sin embargo, cada cono informa solo de cuánta energía ha absorbido, no del “color” en sentido fenomenológico. Ya en esta primera etapa, además, la información queda fuertemente comprimida: de los millones de fotorreceptores retinianos, la señal sale del ojo por alrededor de un millón de fibras nerviosas, lo que obliga al sistema visual a seleccionar, resumir y reorganizar la información desde el inicio.

El paso decisivo ocurre cuando el sistema nervioso deja de codificar la señal en términos meramente receptoriales y la reorganiza en canales oponentes. En el núcleo geniculado lateral y en etapas posteriores aparecen contrastes del tipo rojo-verde y azul-amarillo, junto con canales más ligados a luminancia, detalle espacial y variación temporal. Por ello, el color no es una propiedad aislada, sino una dimensión integrada con forma, borde, contraste, movimiento y localización espacial. La corteza visual no recibe, por tanto, una “imagen ya hecha”; recibe diferencias, relaciones y regularidades que deben ser interpretadas.

Desde la psicofísica y la neurociencia cognitiva, la percepción cromática es además contextual. Un mismo estímulo puede cambiar de apariencia según la iluminación, el fondo, los colores vecinos, el nivel de adaptación o los movimientos oculares. De ahí proceden fenómenos como la constancia de color, el contraste simultáneo o la atenuación perceptiva de campos cromáticos uniformes.

En términos estrictos, el cerebro no reproduce fielmente el patrón retiniano, sino que construye una representación estable y funcional del mundo visible. En esa construcción, la adaptación cromática y los mecanismos comparativos locales son tan importantes como la excitación inicial de los fotorreceptores. En ese sentido, la comprensión contemporánea del cerebro visual converge con modelos predictivos de la percepción: el sistema nervioso no espera a recibir toda la información para “leer” la imagen, sino que genera hipótesis sobre el mundo y corrige esas hipótesis con el error sensorial entrante. La percepción de la imagen y del color sería, así, una inferencia biológica guiada por memoria, experiencia y utilidad conductual. Esto explica por qué vemos colores relativamente estables bajo iluminaciones distintas, por qué completamos formas incompletas y por qué la escena percibida suele ser más coherente que la información física disponible en la retina.

La neuroestética añade un nivel adicional: no estudia solo cómo vemos, sino cómo ciertas configuraciones visuales adquieren valor afectivo, expresivo o estético. En este marco, conviene distinguir cuidadosamente percepción, arte y belleza: no toda respuesta emocional es una experiencia de belleza, y no toda obra artísticamente poderosa depende de la belleza en sentido clásico. Los trabajos de neuroestética sitúan el fenómeno estético en la interacción entre sensación, percepción, atención, memoria, emoción, recompensa y decisión. En el caso del color, esto implica que la respuesta estética no depende únicamente del matiz aislado, sino también de armonías, contrastes, asociaciones culturales y activación de circuitos de valoración, entre ellos regiones orbitofrontales vinculadas al procesamiento de recompensa.

En resumen, desde la neurociencia el color no es una propiedad simple de la luz, sino una construcción perceptiva multisistémica; y desde la neuroestética, la imagen no solo se reconoce, sino que también se valora. Ver el color equivale a integrar señal retiniana, contexto espacial, memoria, predicción y afecto. Comprender esta arquitectura permite entender con mayor profundidad por qué las imágenes no solo muestran el mundo, sino que también lo interpretan y lo hacen sensible para la experiencia humana

1.4. APARIENCIA, COLOR Y PERCEPCIÓN

Antes de abordar la gestión del color conviene delimitar con precisión qué problema resuelve y, sobre todo, qué problema no resuelve por sí misma. La gestión del color no constituye una teoría general de la visión ni una teoría completa de la apariencia visual. Su cometido principal es establecer una comunicación controlada del color entre dispositivos y medios de reproducción, de modo que las transformaciones cromáticas se efectúen sobre bases cuantitativas, repetibles y técnicamente coherentes. Dicho de otro modo, la gestión del color busca conservar relaciones colorimétricas o apariencias de referencia dentro de un marco de observación especificado, pero no puede garantizar que una imagen produzca siempre la misma impresión perceptiva con independencia del medio, del entorno y del observador.

Esta precisión es esencial porque la apariencia visual de un objeto o de una imagen depende de un conjunto de factores mucho más amplio que sus coordenadas colorimétricas. Intervienen, entre otros, la distribución espectral de la iluminación, su nivel y geometría, la luminancia y cromaticidad del fondo y del entorno, el estado de adaptación visual, el tamaño angular del estímulo, su contexto espacial, la naturaleza emisiva, reflectante o transmisiva del soporte, y las propiedades materiales de la superficie. En consecuencia, dos estímulos que presenten una coincidencia colorimétrica bajo una condición concreta de observación pueden dejar de parecer iguales cuando cambian dichas condiciones. La apariencia, por tanto, no es un atributo absoluto del objeto ni una propiedad encerrada en el archivo de imagen, sino el resultado de la interacción entre la radiación, el material, el entorno de observación y el sistema visual.

Desde esta perspectiva, el color debe entenderse como un atributo perceptivo integrado en un problema de apariencia más amplio. La percepción visual de un objeto no se reduce a su componente cromática, sino que incorpora también propiedades como el brillo superficial, la textura, la translucidez, la transparencia, la uniformidad y, en determinados materiales, la dependencia angular respecto a la geometría de observación e iluminación.

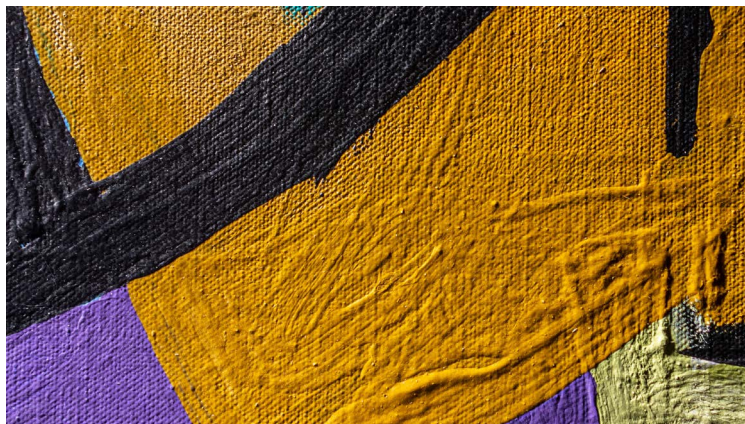


Figura 1-1. La apariencia de una superficie está modulada por las propiedades espaciales de su textura, expresadas mediante el contraste local o microcontraste bajo unas condiciones determinadas de iluminación y especularidad. A ello se añaden las propiedades radiométricas asociadas a la reflexión difusa, que condicionan la percepción del color y de la luminosidad material.

En materiales reales, estos atributos no aparecen aislados, sino que son fuertemente dependientes en ellos. La percepción final surge de su acción conjunta, y precisamente por ello la fidelidad cromática no equivale necesariamente a fidelidad de apariencia.

1.4.1 Color

En el caso de los objetos y materiales, la apariencia puede describirse mediante varios atributos perceptivos principales. El color es uno de ellos, y probablemente el más influyente en tareas de identificación, discriminación y memoria visual. Sin embargo, su percepción depende del iluminante, del entorno y de la adaptación cromática del observador. Por eso, dos estímulos con valores tristímulo idénticos no garantizan por sí mismos igualdad perceptiva fuera de la condición en la que esa igualdad fue definida. La colorimetría clásica resulta extremadamente útil para especificar y transformar color, pero opera bajo hipótesis restringidas: observador normalizado, estímulos comparables y condiciones de observación bien definidas. Cuando esas hipótesis dejan de cumplirse, aparece el problema de la apariencia.



Figura 1-2. Los reflejos especulares y las sombras generadas por la microtextura superficial modulan de forma conjunta la apariencia luminosa de la superficie, condicionando tanto la percepción de su claridad global como la discriminación del detalle fino. La imagen de la izquierda presenta reflejos especulares mientras que la imagen de la derecha se han suprimido

1.4.2 Textura

La textura constituye otro componente decisivo. Describe la organización espacial fina de la superficie, incluyendo relieve, rugosidad, microestructura y distribución local de luminancia y color. Desde el punto de vista perceptivo, la textura aporta información sobre el material, el estado superficial, la erosión y la estructura del objeto. Pero además modifica la propia percepción cromática, porque altera la dispersión de la luz, el contraste local, la nitidez aparente y la forma en que se distribuyen las componentes difusas y especular de la reflexión. Una superficie rugosa y una superficie pulida con la misma reflectancia espectral difusa no producen, en general, la misma apariencia.

1.4.3 Brillo

El brillo superficial, entendido como la manifestación perceptiva de la reflexión especular, tampoco debe confundirse con la claridad ni con la luminosidad del color. Se trata de un atributo de apariencia vinculado a la distribución angular de la luz reflejada y a la microestructura o microrelieve de la superficie. De él derivan fenómenos como el lustre, el *gloss* y la percepción de calidad superficial.

En muchos materiales gráficos e industriales, pequeñas variaciones de microestructura bastan para modificar de forma apreciable la saturación aparente, la profundidad tonal y la impresión global de calidad, aun cuando la composición cromática del material no haya cambiado de manera significativa.

1.4.4 Transparencia

La transparencia y, con mayor frecuencia en materiales reales, la translucidez, añaden un nivel adicional de complejidad. Cuando la luz penetra en el volumen del material y sufre absorción y dispersión internas, la apariencia deja de estar determinada únicamente por la superficie. En estos casos importan el espesor, la estructura interna, la presencia de interfaces, el fondo y la geometría de observación. Vidrios, polímeros, papeles, tintas, barnices, recubrimientos y múltiples sustratos gráficos muestran este tipo de comportamiento. El resultado es que la apariencia visible no depende solo de “qué color tiene” el material, sino también de cómo la luz atraviesa, emerge o se redistribuye en su interior.

Todo ello adquiere una importancia especial cuando se pasa del objeto físico a su reproducción. El problema de la reproducción del color no consiste únicamente en transformar números entre espacios o perfiles, sino en decidir qué debe conservarse al pasar de una condición de imagen a otra. En una cadena de reproducción intervienen, como mínimo, un dispositivo de captura o generación, un medio de visualización y un observador situado en un entorno determinado. Una imagen en pantalla y una copia impresa no solo difieren por su *gamut* (gama) o por su balance cromático potencial, sino por su naturaleza física: la pantalla es un medio emisor, mientras que la copia impresa es un medio reflectante. La primera genera luz; la segunda la modula. Por esa razón, ambas difieren en luminancia máxima, nivel de negro, contraste útil, *flare*, adaptación inducida, dependencia del iluminante y relación con el entorno inmediato.

Esta diferencia entre medios emisivos y reflectantes explica por qué una coincidencia estrictamente colorimétrica entre pantalla e impresión no garantiza una coincidencia de apariencia.

Una pantalla suele contemplarse en condiciones de luminancia relativamente alta y con un punto blanco autoemisivo, mientras que una copia impresa depende por completo de la iluminación incidente y del color del papel. Además, el observador no se adapta del mismo modo a una imagen luminosa aislada en un entorno oscuro que a una superficie reflectante vista bajo luz ambiente. Por tanto, la reproducción satisfactoria entre medios distintos exige algo más que conservar coordenadas: exige considerar la adaptación cromática, el rango dinámico disponible, la relación entre imagen y entorno, y los criterios perceptivos con los que se juzga el resultado.

En este punto conviene distinguir entre equivalencia colorimétrica y equivalencia de apariencia. La primera implica igualdad o proximidad en una magnitud instrumental definida dentro de un modelo colorimétrico. La segunda implica semejanza perceptiva bajo unas condiciones de observación concretas. Ambas pueden coincidir en casos simples y cuidadosamente controlados, pero dejan de hacerlo con frecuencia cuando se comparan imágenes complejas, materiales con brillo, superficies texturadas, soportes translúcidos o reproducciones observadas en contextos diferentes. La práctica profesional confirma esta diferencia de forma constante: dos pruebas pueden medir parecido y, sin embargo, “verse” distintas; o a la inversa, dos reproducciones pueden apartarse moderadamente en términos colorimétricos y resultar perceptivamente más equivalentes.

A esta dificultad se añaden dos fenómenos fundamentales: el metamerismo y la inconstancia del color. El metamerismo recuerda que dos muestras pueden igualarse bajo un iluminante y separarse bajo otro, debido a diferencias en sus distribuciones espectrales de reflectancia o emisión. La inconstancia del color, por su parte, subraya que un mismo objeto puede cambiar de apariencia cromática al variar la iluminación, incluso sin comparación con otra muestra. Ambos fenómenos muestran que la reproducción no puede entenderse únicamente como una correspondencia entre tríadas numéricas; está condicionada por la relación espectral entre iluminante, material y observador.

Desde el punto de vista práctico, esto implica que toda coincidencia cromática es siempre condicional, y que la especificación de las condiciones de observación forma parte del propio problema del análisis de la calidad.

Por ello, en sentido estricto, la gestión del color debe entenderse como un subsistema dentro del problema general de la apariencia. Su fortaleza reside en proporcionar una base metroológica y computacional para describir dispositivos, transformar señales y mantener coherencia entre etapas de captura, visualización e impresión. Esto es indispensable y constituye el núcleo de cualquier flujo de trabajo serio. Sin embargo, la gestión del color no agota el problema porque no describe por completo la apariencia material, no elimina las diferencias físicas entre medios y no sustituye el papel de la observación bajo condiciones normalizadas.

Cuando las diferencias de medio y de entorno son significativas, se hace necesario introducir modelos de apariencia del color y estrategias de reproducción perceptiva. Tales modelos intentan predecir cómo cambian atributos como tono, claridad, viveza o colorido al modificarse las condiciones de observación. No obstante, incluso estos modelos operan mediante simplificaciones. Son herramientas muy valiosas para aproximar correspondencias de apariencia entre condiciones distintas, pero no deben interpretarse como descripciones exhaustivas de la experiencia visual total. Quedan fuera, o solo parcialmente representados, muchos factores espaciales y materiales: textura compleja, relieve fino, brillo anisótropo, translucidez volumétrica, fluorescencia, dependencia angular o interacciones locales de contraste.

De todo ello se desprende una conclusión metodológica importante. Cuando se habla de “igualar color” entre originales, pantalla, prueba y copia final, conviene detallar qué se desea igualar realmente: la señal, la colorimetría, la respuesta visual bajo una cabina normalizada, la impresión subjetiva en uso real, o la apariencia material global.

Son objetivos similares, pero no idénticos. Un flujo técnicamente correcto debe especificar el objetivo de reproducción, las condiciones de observación y el criterio de aceptación. Sin esa delimitación, se atribuyen a la gestión del color problemas que en realidad pertenecen al ámbito más amplio de la apariencia.

En conjunto, puede afirmarse que la apariencia visual constituye un problema multidimensional en el que color, textura, brillo, translucidez, geometría de iluminación, contexto y adaptación visual se condicionan mutuamente. La gestión del color es imprescindible porque permite estabilizar y comunicar una parte fundamental de ese problema: la componente cromática controlable entre dispositivos. Pero la apariencia final de una imagen o de un objeto sigue dependiendo de factores físicos y perceptivos que exceden la mera transformación colorimétrica.

Por ello, al comparar una pantalla con una copia impresa, o dos reproducciones realizadas sobre soportes distintos, no basta con preguntar si “tienen el mismo color”; es más preciso preguntar si producen una apariencia equivalente bajo unas condiciones de observación definidas y pertinentes para su uso.

2 El color

2.1.INTRODUCCIÓN

El color es un fenómeno de naturaleza psicofísica. Esto significa que no puede entenderse únicamente como una propiedad física de la radiación, ni exclusivamente como una construcción subjetiva desligada del mundo material. El color es un atributo de la percepción visual que surge cuando un estímulo radiante, con una determinada distribución espectral, interactúa con un sistema de visión bajo unas condiciones concretas de observación.

Por esta razón, el color no se mide de manera directa como se mide la masa, la longitud o la temperatura. Lo que sí puede medirse son las magnitudes físicas asociadas al estímulo luminoso, como su distribución espectral, su radiancia, su irradiancia o la reflectancia espectral de un objeto. A partir de esas medidas, y mediante modelos colorimétricos contruidos para representar un observador de referencia, puede estimarse cómo será percibido ese estímulo por un sistema visual dado. De ahí que, en colorimetría, a menudo se pase del ámbito estrictamente físico al del estímulo visual, y de este al de la percepción.

La percepción o reproducción de un color concreto depende, en términos generales, de la interacción entre tres elementos fundamentales: la escena o el objeto, el observador y la luz. A estos tres factores debe añadirse, en aplicaciones de cierta precisión, la geometría de observación e iluminación, ya que el color y la apariencia no dependen solo de qué luz incide sobre una superficie, sino también de cómo lo hace y desde dónde se observa.