



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio del efecto Bezold producido por redes monocromáticas y acromáticas

Grado en Ingeniería en
Diseño Industrial y Desarrollo de Productos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Autor:
Jorge Montalvá Colomer

Director:
Ignacio Tortajada Montañana

Valencia, junio 2013



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Estudio del efecto Bezold producido por redes monocromáticas y acromáticas

Grado en Ingeniería en
Diseño Industrial y Desarrollo de Productos

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

Autor:
Jorge Montalvá Colomer

Director:
Ignacio Tortajada Montañana

Valencia, junio 2013

*Vive como si fueras a morir mañana.
Aprende como si fueras a vivir para siempre.*

Mahatma Gandhi

Resumen

En este Trabajo Final de Grado (TFG) analizamos como varía la percepción visual de un test rectangular, acromático (gris: $\beta=0,5$) o de color (rojo, verde o azul), al contemplarlo a través de una red rectangular (red de Ronchi) con una razón de modulación constante ($r_m=0,5$) acromática (blanca-negra) o monocromática (blanca-roja, blanca-verde o blanca-azul).

En todos los casos la visión ha sido foveal, binocular y orientada perpendicularmente a los segmentos de la red. Las conclusiones se han llevado a cabo con cuatro observadores (dos hombres y dos mujeres) con visión emélope o corregida y han sido evaluados doce tests.

Los resultados nos indican que como se sabe por la teoría gestaltiana, la visión de un test depende del escenario en que está inmerso y de las condiciones ópticas con las que observamos la red envolvente.

Las variables de observación han sido:

1. El color de la red: Monocromática: blanca-roja, blanca-verde o blanca-azul con secuencia gris. Acromática (blanca-negra) con secuencia roja verde o azul.

El azul y el verde son los colores más influenciados por el efecto Bezold, habiéndose obtenido resultados similares. El rojo tiene una menor influencia, siempre por debajo del azul y el verde.

Índice

| | |
|--|-----------|
| I Introducción | 11 |
| Percepción visual | 11 |
| Aproximación geométrica-física | 16 |
| Aproximación ecológica | 17 |
| Aproximación social | 22 |
| Psicología de la Gestalt | 26 |
| Las leyes (principios) de la organización perceptiva de la Gestalt | 29 |
| Leyes de la Gestalt como principios heurísticos | 33 |
| Segregación perceptiva: Relación figura-fondo | 34 |
| Color | 39 |
| El color a través de los tiempos | 39 |
| El color que realmente vemos | 47 |
| Número de colores | 54 |
| Definiciones | 59 |
| II Estado del arte: el efecto Bezold | 61 |
| 1839 - 1969 | 61 |
| 1970 - 1979 | 65 |
| 1980 - 1989 | 66 |
| 1990 - 1999 | 68 |
| 2000 - 2013 | 72 |
| Conclusión | 82 |
| III Objetivos y técnica experimental | 83 |
| Objetivos | 83 |
| Observadores | 84 |

| | |
|---|------------|
| Selección | 84 |
| Diseño de la experiencia | 86 |
| Láminas (Test) | 86 |
| Iluminancia | 92 |
| Aparatos de medida | 92 |
| Descripción y justificación de los parámetros experimentales | 93 |
| Efecto Bezold | 93 |
| Color | 93 |
| Descripción y justificación del método experimental | 93 |
| Desarrollo de la experiencia | 94 |
| IV Resultados | 97 |
| A1: Secuencia cromática perpendicular a la red. Red acromática horizontal/vertical. | 98 |
| A2: Secuencia gris perpendicular a la red. Red monocromática horizontal/vertical. | 100 |
| V Conclusiones | 103 |
| Red acromática: secuencias rojas, verdes y azules | 103 |
| Red monocromática: roja-blanca, verde-blanca y azul- blanca, con secuencia gris | 104 |
| VI Anexo | 109 |
| Medias y desviación típica | 109 |
| VII Bibliografía | 121 |

I Introducción

Siendo el objetivo de este Trabajo Final de Grado (TFG) el desarrollo y análisis de determinados aspectos y conductas de la percepción visual, he creído conveniente iniciarlo dedicando unas páginas a diferentes conceptos íntimamente relacionados con el tema de este trabajo como son: la percepción visual, la psicología de la Gestalt y el color.

Percepción visual

Uno de los objetivos de la percepción es informarnos sobre las propiedades del entorno que nos rodea. De este modo realicemos la tarea que realicemos ya sea escribir a ordenador, cruzar la calle o recibir una clase, debemos ser capaces de ver lo que hay fuera y oír lo que está ocurriendo.

La percepción nos ayuda a escribir a través del teclado en el ordenador, mantenernos a salvo cruzando la calle sin peligro, a escuchar las explicaciones y ver las anotaciones del profesor en la pizarra, etc. La percepción crea una conciencia del entorno y nos permite actuar en el.

El mundo que nos rodea está compuesto por gran variedad de objetos de forma, tamaño, color y factor de luminancia invariantes con una clara preferencia por el equilibrio, la estabilidad, la economía (simplicidad de formas) la simetría. En una palabra ajustándose a las leyes de la geometría propia de nuestro entorno físico, con características tan marcadas que generalmente podemos reconocerlas rápida y fácilmente.

En la mayoría de los casos estos objetos no se presentan aislados sino que están acompañados de otros con los que guardan una gran coherencia, formando parte de los más dispares conjuntos específicos: bebida y comida en una mesa de comedor, material y escritorio en una mesa de despacho, diversidad de instrumentos musicales en manos de los componentes de una orquesta, uniformes y armas en un cuartel

etc. Conjuntos que solos o en compañía, distribuidos en un espacio tridimensional llenan los sucesivos escenarios visuales.

La información contenida en la energía radiante visible, que procedente de los objetos a los que nos estamos refiriendo, llega a nuestros ojos, no es solamente pobre sino falsa, como es el caso de la información que parece indicar cambios en su forma, tamaño o color, cuando lo único que ha variado ha sido su posición, su lejanía o el iluminante de la escena.

La imagen retiniana, primer estadio de la impronta producida en nuestro organismo por los estímulos visuales, no contiene información de profundidad (es plana) su detección del movimiento es confuso y ambiguo (no se marca claramente cuáles son los objetos móviles y cuales los fijos). Partiendo de un objeto invariable, su imagen varía de forma y tamaño al variar la distancia e inclinación del mismo respecto a nuestros ojos, así como el color y luminancia de su imagen por cambios con el tamaño, colocación, espectro e intensidad de la fuente luminosa del escenario que contemplamos.

Un sencillo ejemplo, como vemos en la figura 1.1, prueba la reducida información contenida en la imagen retiniana. Dicha información no puede decirnos por sí sola por qué vemos un cuadrado blanco sobre otro negro (b) o un cuadrado blanco con un marco negro (a).



Figura 1.1 Ejemplo de la información de la imagen retiniana.

A partir de la imagen retiniana, su información convenientemente codificada, para simplificar su recorrido a lo largo de la red neuronal y enriquecida con la información procedente de otros sentidos que se incorpora en los cuerpos geniculados laterales, llega a la corteza cerebral, maravilloso procesador de datos, que con dicha información, ayudada por la fisiología (fatiga, movimiento de músculos, en especial los ocu-

lares) y principalmente la psicología (experiencia, personalidad, atención, interés, estado de ánimo, conocimiento, etc.) construye partiendo de la reducida y falsa información de la imagen retiniana, una respuesta con tal cantidad de datos que nos permiten reconocer visualmente objetos presentes en el campo exterior aunque su imagen retiniana esté incompleta.

Como se deduce del párrafo anterior, el proceso visual consta de dos partes bien diferenciadas. Formación de la imagen retiniana, a la que llamamos sensación (comportamiento y respuesta del sensor visual humano) en que intervienen exclusivamente leyes físicas, químicas y fisiológicas, y una segunda parte, la percepción, el tratamiento de la sensación (procesamiento e interpretación de la imagen sensible) obedeciendo a leyes psíquicas que nos permite cubrir el salto que separa la información contenida en la imagen retiniana con el mundo que creemos real por ser el que vemos en función de la percepción visual.

Incluyendo la sensación dentro de la percepción, ésta podemos definirla como la facultad humana que nos permite relacionar el estímulo físico con la respuesta visual. En términos más técnicos diremos que en el fenómeno visual, la percepción representa el salto input-output.

De acuerdo con este criterio, la percepción visual equivale en términos físicos a un ciclo compuesto por la óptica directa (partiendo del objeto, obtener la imagen) y la óptica inversa (dada la imagen reconstruir el objeto).

Dentro de esta idea (sensación incluida en la percepción) podemos definir la percepción con palabras de uso más corriente, como: El conocimiento de nuestro entorno a través de los sentidos.

Las preguntas que surgen al leer esta definición son: ¿Cómo es per se nuestro mundo exterior? ¿Cómo es per se nuestro entorno? ¿Cómo es el mundo que comúnmente se le conoce como mundo real?

No podemos saberlo, solo podemos conocer, lo que de el nos dicen nuestros sentidos.

Por grande que sea la categoría de la codificación y posterior descodificación de nuestro entramado neuronal y el tratamiento de datos de la corteza cerebral, es imposible explicar cómo sin la experiencia podemos convertir el conjunto de formas, tamaños, claridades, bordes y gradientes que componen la imagen retiniana en el maravilloso mundo perceptivo que nos rodea.

El gran oftalmólogo español Barraquer en una magnífica conferencia realizada en el década de los 50 en San Sebastián, mostraba con gran cantidad de argumentos, lo poco que le serviría a un niño la visión, si por estar encerrado en una caja de cristal no pudiera comprobar con sus manos, las impresiones visuales producidas por los objetos que le rodeaban (Aguilar and Mateos, 1996).

En contraste del importante papel que juega la experiencia en la percepción visual, indicaremos el triste final de los pocos ciegos citados en la bibliografía, que a una mediana edad pudieran por primera vez «ver». Solo un pequeñísimo número se adaptaron a las condiciones de vida propias de los videntes, el resto se suicidaron, enloquecieron o prefirieron vivir a oscuras. Sus mayores dificultades fueron poder percibir distancias (interpretaban el paisaje visto a través de una ventana como un paisaje pintado en la misma) y relacionar la variación del tamaño con la distancia, no pudiendo comprender como una persona podía caber en una casa pequeña (lejana).

Para ver el mundo como lo percibimos no solo es necesaria la experiencia, sino que el aprendizaje tiene que ir en paralelo a como se va desarrollando nuestra fisiología. A partir de cierta edad, el cerebro ya es incapaz o le cuesta mucho reconocer formas que no aprendió a ver en su niñez. Rof Carballo (1957) afirma que un individuo de un país subdesarrollado, que en su infancia y pubertad, no hubiese prestado atención a los polígonos regulares, trasladado a los 20 años, a un país desarrollado, sería incapaz (sin contar los lados) de distinguir un cuadrado de un pentágono.

Consecuencia inevitable de esta afirmación es el procurar que los niños utilicen la vista al máximo desde su más tierna infancia.

Las variables del campo visual que exigen la ayuda previa de la experiencia pueden agruparse en estos seis apartados.

1. Separación, figura-fondo.
2. Sustituir los componentes unitarios por conjuntos con sentido físico.
3. Constancia de tamaño, forma, claridad y color.
4. Percibir un espacio tridimensional.
5. Percibir las cualidades terciarias de los objetos (saber que una superficie brillante es resbaladiza, que un carbón medio rojizo quema, etc.) y principalmente de las personas: son atractivos o repugnantes, serenos o amenazadores, inquietas o tranquilas, etc.
6. Tener presente que la propia personalidad influye decisivamente en la interpretación del mundo exterior.

Desarrollaremos la percepción visual subdividiéndola en tres apartados.

Aproximación geométrica-física: En esta aproximación mediante una apropiada interpretación preferentemente geométrica de los datos contenidos en la imagen retiniana, separamos el fondo del escenario visual de los objetos en él contenidos fijando la forma, tamaño y localización de estos últimos.

Aproximación ecológica: Nuestro entorno global conocido con el nombre genérico de medio ambiente, es fundamentalmente dinámico, entendiéndose por tal no solo el movimiento sino también el cambio de objetos con ausencia de unos y presencia de otros diferentes, la presencia de animales y plantas (con vida propia) la existencia de fenómenos naturales (lluvia, nieve, tormentas, etc.) todo ello se identifica (forma, tamaño, localización) no por el estudio de los datos geométricos contenidos en la imagen retiniana, sino por la interpretación de los que son consecuencia de las diferentes texturas pertenecientes a las diversas superficies presentes en el campo visual.

Aproximación social: Las relaciones sociales (convivencia con otras personas) nos obligan a remodelar el tamaño y forma percibidas en las fases anteriores, partiendo de nuestra personalidad tanto fisiológica (edad, fatiga, salud, estatura, obesidad, etc.) como anímica (estado de ánimo, cultura, conocimiento, interés, etc.)

El reconocimiento de los rostros y del significado de sus expresiones (alegría, tristeza, enfado, etc.) lo dejaremos por tratar, por constituir una faceta muy específica de la percepción, y estar poco relacionado con el tema principal de esta tesis.

Aproximación geométrica-física

Al intentar explicar el fenómeno de la percepción visual la primera pregunta que tenemos que responder es: ¿Cómo es posible que llegando a nuestro cerebro una serie de impulsos nerviosos en que no hay una indicación precisa de si proceden de uno u otro objeto del campo visual, (la mano que sostiene la raqueta, pertenece a la raqueta o al brazo) las «veamos» perfectamente separadas, atribuyendo cada porción del campo al objeto que le corresponde?

Esta pregunta es una de las tantas paradojas científicas en el sentido de que si científicamente las respuestas con nuestros conocimientos actuales aún comprenden un sin fin de lagunas e interrogantes, para la sociedad, ésta, es de una sencillez aplastante. Vemos las cosas de nuestro alrededor separadas, porque esas cosas están separadas y punto.

El apellido físico de esta aproximación se justifica porque lo fundamental del problema es identificar unidades (conjuntos) en función de sus atributos físicos: tamaño o forma y el geométrico por la influencia que tiene el espacio y los contornos en dicha identificación.

Al abrir los ojos, vemos nuestro mundo habitual, casas, árboles, coches, etc., a pesar de que al cerebro solo han llegado impulsos nerviosos consecuencia del proceso retiniano desencadenado por la energía radiante llegada al ojo. De acuerdo con las corrientes psicológicas atomísticas y asociacionísticas, cada impulso proveniente de un receptor que origina a nivel de los centros corticales otras tantas «sensaciones elementales», con una correspondencia punto a punto entre estímulos y sensaciones. Con esta idea ya postulamos la existencia de una primera respuesta psíquica de nivel «inferior», la de las sensaciones elementales. Sobre éstas, intervendrían facultades psíquicas «superiores» (la memoria, el juicio, el razonamiento) que a través de juicios o inferencias en gran parte «inconscientes» basadas en experiencias pa-

sadas agrupan las sensaciones elementales dando lugar a unidades perceptivas más amplias, que son los objetos de nuestra experiencia con su forma y su significado. Las unidades perceptivas, así definidas no contienen peculiaridad alguna que no exista previamente en alguna de las sensaciones elementales que las componen, lo que justifica el nombre de psicología atomística.

Esta teoría aparentemente muy lógica y clara, defendida aún por bastantes psicólogos, creemos no puede sostenerse frente a la respaldada por la experiencia propuesta en el primer cuarto de siglo por la llamada escuela de Berlín con el nombre de psicología de la Gestalt (en alemán forma, figura).

La psicología de la Gestalt juega un papel de tanta importancia en la percepción visual y concretamente en este TFG, que la vamos a tratar con detalle más adelante.

Aproximación ecológica

Al sustituir las superficies y texturas de nuestro mundo exterior por un mundo abstracto, compuesto de puntos, rectas, curvas, ángulos, polígonos y planos sin ningún significado concreto, (aunque sus imágenes retinianas una vez procesadas se transforman en grupos, unidades Gestalt, en los que ya se identifican formas y figuras pertenecientes a objetos del entorno) la información de estos procesados casi exclusivamente geométrica aún conservan bastantes lagunas en su significado. Como ejemplo de la importancia de este problema, basta pensar en el conocido criterio de los contornos subjetivos de la Gestalt, en que por no tener información de la textura interior vemos un triángulo pero no sabemos si es de madera, metálico o de arcilla.

En la segunda guerra mundial, a J.J. Gibson (Gibson, 1979) se le planteó el problema de cómo entrenar a pilotos rápidamente y cómo distinguir antes del entrenamiento los potencialmente buenos de los malos. El punto clave era conseguir una visión óptima en las operaciones de despegue y aterrizaje, maniobras difíciles, probablemente las de máximo peligro.

Al comprobar que con gráficas, diapositivas, etc. de espacios tridimensionales y de perspectivas abstractas respondiendo al modelo geométrico de la escuela de la Gestalt, los resultados eran pobres y lentos sustituyó los conceptos básicos de esta es-

cuela por otros puntos de partida: espacios limitados por superficies texturadas, con los que obtuvo mejores resultados.

Esta sustitución fue el principio de un continuado trabajo de más de 30 años en los que sentó las bases de una nueva estructuración de la respuesta visual que llamó aproximación ecológica. Gibson insiste a lo largo de toda su obra en que tanto la superficie de los objetos como la de los terrenos que las sustentan, tienen texturas características muy diferenciadas; texturas que olvidamos al hablar de planos y espacios dimensionales.

La importancia de la diferencia superficie-plano en la comprensión de la respuesta visual la expresa Gibson clara y escuetamente escribiendo:

Una superficie es sustancial, un plano no. Una superficie es texturada, un plano no. Una superficie nunca es perfectamente transparente, un plano si lo es. Una superficie puede verse, un plano solamente puede visualizarse.

En mi opinión estas líneas son suficientes para convencernos de la gran superioridad como fuentes de información de las superficies con textura frente a los planos en el proceso de la percepción visual, convencimiento que exige sustituir la geometría basada en abstracciones tales como puntos y planos propios de la geometría convencional, por una geometría ecológica más apropiada para describir el entorno partiendo de las superficies existentes y de sus texturas.

Consecuente con esta idea Gibson sustituye la aproximación clásica, percepción de la profundidad o del espacio, por una aproximación que resalta la percepción de superficies en el ambiente.

Si bien, para los gestaltistas, la información contenida en la radiación visible consta esencialmente de puntos y líneas que una vez plasmadas en la imagen retiniana, un procesado posterior, las convierte en las formas y figuras de los objetos presentes en el campo visual, para los seguidores de Gibson, la información es más directa, la que llaman el «orden óptico ambiental».

Por orden óptico ambiental se entiende la luz difundida en dos grandes superficies, una de ellas uniforme (gradientes suaves) el firmamento o el techo de los espacios cubiertos, y la otra el terreno o suelo, provista de una textura más o menos regular.

En la primera de estas superficies, en ocasiones está presente el sol o cualquiera de las otras luminancias que envían directamente la luz al resto del escenario visual, la segunda se subdivide en una serie de estructuras muy diferenciadas fijas o móviles correspondientes a los objetos y seres vivos presentes en el escenario.

La percepción de Gibson no parte de la imagen retiniana sino del orden óptico ambiental (más cercano al entorno que los puntos y rayas) que el observador muestrea activamente. Este punto de partida se registra en la imagen retiniana en lugar de procesarse.

El orden óptico contiene información invariante sobre la situación, posición y forma de objetos de nuestro mundo en circunstancias en que los psicólogos tradicionales solo las identifican de modo ambiguo o insuficiente.

Como ejemplo de esta información invariante podemos citar la que Sedgwick (Sedgwick, 1973) llamó «relación proporcional en el horizonte». Si el horizonte interseca con un objeto a una altura dada, corta en la misma proporción a todos los objetos de la misma altura, cualquiera que sea su distancia (de acuerdo con la invariación propia del paralelismo, línea de mirada-superficie terrestre). La figura 1.2 muestra cómo un aumento en la densidad de la textura puede proporcionar impresión de superficies que retroceden en la distancia.

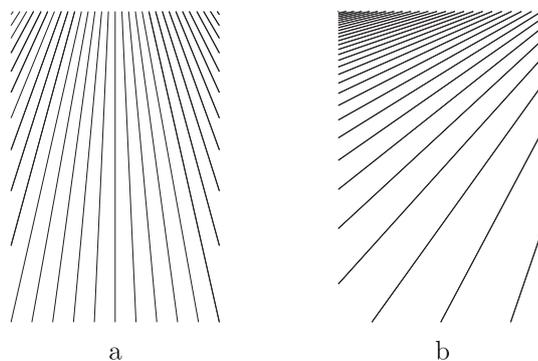


Figura 2.2 Impresión de distancia y dirección.

El mayor o menor cambio en la densidad de textura nos indica con bastante precisión y no de forma ambigua la distribución de las superficies en nuestro entorno.

Las figuras 1.3 y 1.4 prueban cómo la forma local de una superficie puede deducirse del cambio en el gradiente de la textura.

La perspectiva aérea de que se valen los gestaltistas para deducir el tamaño de un objeto, es bastante ambigua, por considerar al objeto en estudio, aislado en el espacio sin más referencia que el ángulo sólido que subtiende desde el ojo del observador, que como es sabido, depende no solo del tamaño sino también de la distancia y de su posición (más o menos inclinado respecto al observador, ver figura 1.5). En dicha figura está representado el tipo de dibujo que suele ser utilizado por los estudiantes de percepción visual para ilustrar las ambigüedades de la imagen retiniana.

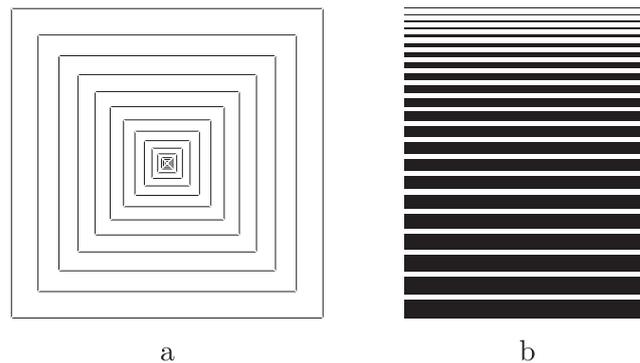


Figura 1.3 a) Efecto tridimensional. b) Densidad de textura.

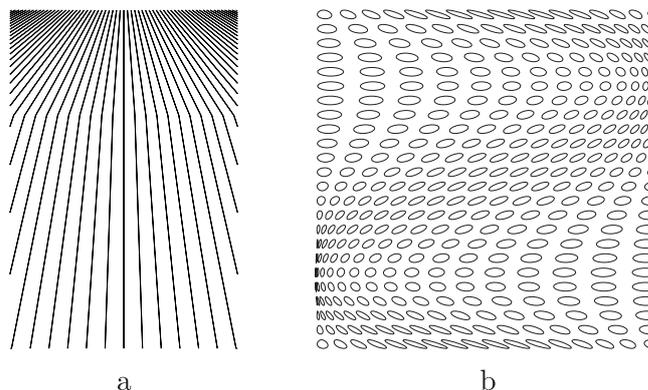


Figura 1.4 a) Cambio de forma por gradiente de textura. b) Percepción de una inclinación por gradiente de textura.

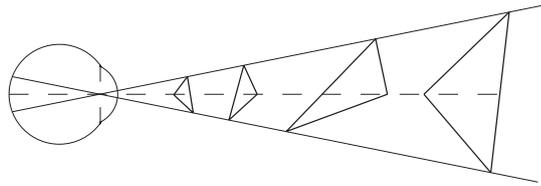


Figura 1.5 Ángulo sólido que subtende desde el ojo del observador.

Este tipo de deducciones, en que las imágenes se tratan como si fueran proyectadas por objetos artificialmente planos, desprovistos de cualquier fondo, indigna a Gibson, que escribe:

La distancia no es una línea desde un punto hasta el ojo, como el obispo Berkeley pensó. Pensar así, es confundir la geometría abstracta del espacio con el espacio vivo del entorno. Es confundir el eje Z del sistema de coordenada con el número de pasos a lo largo del terreno hacia un objeto fijo.

Consecuente con su pensamiento sustituye la perspectiva aérea por la «perspectiva terrestre» en la que deduce la distancia por la variación en la densidad de la textura de la superficie horizontal que une la distancia ojo-objeto y la posible inclinación (o volumen) por las variaciones en la textura del objeto.

En la percepción de movimientos, también juega un papel fundamental la textura de las superficies que forman el escenario visual.

El movimiento ya no se detecta partiendo de puntos de referencia en diferentes distancias, sino observando las nuevas zonas de textura del fondo que quedan al descubierto al avanzar el objeto y las que en dicho avance desaparecen.

Con el movimiento del sujeto, todo el orden óptico ambiental actuando como conjunto se transforma, transformación que se trata como un flujo en movimiento. Como ejemplos podemos citar el campo de flujo óptico para un avión que aterriza, para un tren mirándolo hacia atrás, lateralmente o hacia adelante.

Un flujo divergente con su polo acercándose al sujeto si este avanza, hacia el fondo del entorno. Flujo convergente con el polo alejándose del sujeto, si éste retrocede, y flujo con movimiento de abanico si el movimiento del sujeto es paralelo al fondo del campo visual.

Gibson en su entusiasmo por las texturas, llega a afirmar que su información específica las ofertas del campo visual.

Esta es una hipótesis radical porque implica que los «valores» y significados de un objeto dentro de su entorno puede percibirse directamente.

Probablemente esta atrevida idea del carácter demandante de un objeto puede haber sido tomada de Koffka (Koffka, 1935).

Para un hombre primitivo, cada cosa dice lo que es, y lo que él debería hacer con ella... ...un fruto dice «comerme» el agua dice «beberme», el trueno dice «temerme».

Con estas líneas terminamos la parte dedicada a la aproximación ecológica, sin pronunciarnos, por carecer de conocimiento en la materia, sobre su grado de validez, dentro del conocimiento filosófico actual. La hemos incluido en este capítulo por lo atractivo que resulta para un no experto en el tema, el atribuir a las texturas de las superficies la importancia que en el proceso visual, le concede la escuela de Gibson y en particular a esta tesis por estar tratando con superficies bidimensionales como veremos más adelante en la parte experimental.

Aproximación social

En la aproximación social, para conformar la respuesta visual, la percepción se apoya, mejor dicho, parte principalmente de los sentimientos que despiertan en nosotros las personas, animales, plantas y objetos con los que continuamente nos relacionamos en nuestra vida social. Esta respuesta está en función de nuestra personalidad tanto anímica como cultural y fisiológica.

La imagen que procesada y registrada en nuestro intelecto con una forma dada (aproximación geométrica o ecológica) nos dice muy poco o nada si no hemos tenido en cuenta lo que significa en nuestra vida social.

Los trazos curvos que procesados los hemos registrado como esfera, ya no es una esfera, sino una pelota de tenis, un balón, una naranja, un círculo, un mapa mundi, etc. Tres ángulos que hemos procesado como un cuadrado, una vez registrado pasa

de ser cuadrado a ser una mesa, un tablero de ajedrez, etc.; las cuatro curvas procesadas como un círculo se convierten en un volante o una rueda de coche, ruleta, etc. siendo este último paso mucho más importante que el primero. Con este último significado, nuestros sentimientos, el conocimiento que tengamos de su utilización y nuestra experiencia harán que los objetos del mundo exterior de uno u otro tamaño, con textura más o menos brillante, etc. alcancen un significado concreto. Siendo este último salto, forma abstracta-significado concreto, tan importante o más que el primero (conjunto de señales simples-todo coherente).

Como ya hemos dicho, la separación entre las aproximaciones 1, 2 y 3, es una manera de desarrollar la percepción visual, sus interrelaciones y contemporaneidad son evidentes, siendo formalmente imposible asignarles secuencia temporal alguna.

En nuestra opinión, al contemplar varias ruedas de bicicleta a trozos, más que los principios de cierre, continuidad, convexidad, etc. (que veremos en el siguiente capítulo, psicología de la Gestalt), lo que hace que reconozcamos en los trozos las ruedas, es porque tenemos una idea muy clara de las bicicletas. El «ver» si le falta algún radio dependerá de que seamos un corredor ciclista, o simplemente hayamos montado en ellas de niños.

Presentamos a continuación unos cuantos ejemplos de percepción visual pertenecientes a lo que hemos llamado fase de aproximación social.

Las experiencias de Atkinson & McClelland (Atkinson and Mc, 1948) parecen probar que la percepción visual de los alimentos y de objetos relacionados con la alimentación, dependen aunque moderadamente del hambre del observador.

Son muy conocidos los trabajos de diversos autores sobre el tamaño atribuido a una misma moneda por niños de clase humilde comparado con el atribuido por niños de clase acomodada, figura 1.6.

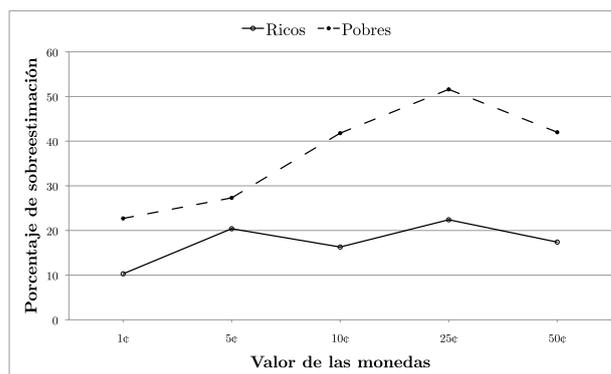


Figura 2.6 Valor que otorgaban a las mismas monedas niños ricos y niños pobres. Adaptado de la experiencia de Bruner y Goodman (1947).

Como se observa en la figura, los niños pobres sobreestimaron más que los ricos el valor de las monedas (Bruner and Postman, 1948).

Con monedas, son también clásicas las experiencias de Lambert et al. (Lambert et al., 1949) en las que comparó el tamaño que asignaban a una misma moneda, dos grupos de niños de una guardería; el primero había pasado un cierto tiempo, utilizándolas para sacar dulces de una máquina, éstos al dibujarlas las representaban de mayor tamaño que los niños del segundo grupo que no habían tenido acceso a las máquinas.

En 1948 Bruner & Postman (Bruner and Postman, 1948) presentaron a sus observadores, tres discos de plástico, uno de ellos con la cruz gamada, el segundo con el símbolo del dólar y el tercero con un dibujo sin significado concreto. Con los discos en la mano regulaban el tamaño de un disco proyectado en una pantalla hasta igualarlo con el disco de plástico; la experiencia probó que los dos discos con significado social (económico y político) eran más valorados (discos mayores en la pantalla) que el tercer disco.

En un trayecto andado, el cansancio, la edad, una dolencia cardíaca o pulmonar, etc. hacen «ver» más larga la distancia al punto final del recorrido.

Al preguntar como vieron la altura de los peldaños de una escalera a dos grupos de personas, el primero de corta estatura (155 a 160 cm) y el segundo alto (180 a 185 cm) los primeros dieron una medida superior a la de los segundos. Es conocido el hecho de que un niño en edad de guardería puede dibujar a sus padres de diferente

tamaño si el cariño que siente por uno de ellos es muy superior al que siente por el otro.

En el estudio de la dependencia conocimiento-percepción. Son muchas las figuras ambiguas, que conocemos. Haciéndose experiencias con observadores han dado como resultado que la experiencia juega un papel fundamental a la hora de ver una figura u otra. Como vemos en la figura 1.7, un saxofonista o un rostro de mujer, un pato o un conejo, un esquimal o un indio. Tenemos un porcentaje elevado de probabilidad de ver una de ellas si antes nos han mencionado que es la figura que se esconde. En la visión influye enormemente lo que esperamos ver. En la figura 1.7, presentamos tres figuras ambiguas.

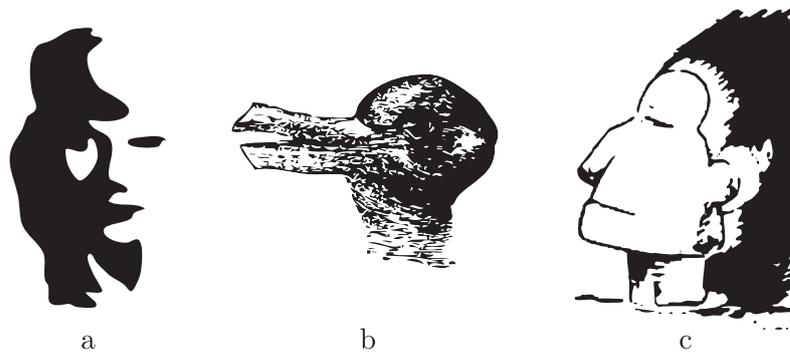


Figura 1.7 Tres casos de figuras ambiguas. a) Saxofonista-rostro de mujer. b) Pato-conejo. c) Esquimal-indio.

Este ejemplo induce a sospechar que la popular definición, «fe es creer lo que no vemos» puede invertirse en, «para ver es necesario creer».

Los ejemplos descritos no nos producen demasiada sorpresa, la relación existente entre lo que vemos y nuestro estado de ánimo o con lo que deseamos ver, es bien conocida. La sabiduría popular da fe de este conocimiento con los populares refranes: En este mundo traidor nada es verdad ni es mentira todo es según el color del cristal con que se mira. Ver la paja en el ojo ajeno y no ver la viga en el propio.

La relación, percepción visual-personalidad, es aprovechada por los psicólogos en el ejercicio de su profesión. Las respuestas de los pacientes al presentarles diversos dibujos son un primer indicio en el análisis de su personalidad.

Psicología de la Gestalt

La psicología de la Gestalt fue propuesta en el primer cuarto de siglo XX por la llamada escuela de Berlín (Gestalt en alemán significa forma, figura).

Esta psicología tiene como característica fundamental, la importancia atribuida a la experiencia directa.

Sus conclusiones las obtienen por el método consistente en presentar a un observador una situación estimulante bien determinada en sus parámetros geométricos (forma, tamaño, posición, situación) modificándola sistemáticamente, pidiendo al sujeto su interpretación inmediata y genuina.

Según los resultados de estas experiencias la realidad perceptiva no se forma por las sensaciones elementales consideradas individualmente sino que está constituida en todo momento por un compuesto de grupos a los que llamaremos unidades Gestalt, racimos perceptivos u objetos que se forman en función de lo que la experiencia nos indica responden a una realidad. Unidades que aunque en principio si que responden a un conjunto de sensaciones causadas por estímulos físicos elementales o unitarios (fotones, radiaciones monocromáticas) su respuesta no es la suma de las respuestas individuales, obedeciendo a la regla de oro de la Gestalt «el todo no tiene porque ser igual a la suma de las partes». Regla de oro bien conocida en química, al comparar propiedades de las moléculas con las de los átomos que las componen (por ejemplo el agua, líquido en condiciones normales de presión y temperatura frente al oxígeno e hidrógeno gases en las mismas condiciones). Comportamiento que justificaría denominar a esta psicología, psicología molecular en contraposición a la atomística.

La existencia de las unidades Gestalt, creemos que no admite discusión. Se pueden comprobar, como veremos a continuación, con gran cantidad de las más variadas experiencias visuales incluidas las ilusiones ópticas.

El que las unidades Gestalt se correspondan o no con conexiones reales en el entramado neural dentro de los campos receptores, es un problema que no corresponde a los psicólogos, sino a los biólogos.

En nuestra opinión, por un principio de economía creemos que en la mayoría de los casos no existe tal correspondencia, aunque en alguno, debido a su importancia en nuestra vida de relación pudiese existir como es el caso de la «neurona del abuelo» (gran facilidad en la percepción de rostros).

Dentro de la identificación (o separación) de objetos en el campo visual tiene especial interés el relacionado con el tándem figura-fondo (distinguir entre las señales procedentes de los objetos que llenan el espacio y las debidas al contorno del mismo).

Esta relación figura-fondo fue estudiada principalmente por el psicólogo danés Edgar Rubin (Rubin, 1921) uno de los más conocidos gestaltistas.

Hemos creído conveniente separar el estudio de la percepción figura-fondo de la percepción de los objetos presentes en el campo visual, no solo por su diferente objetivo sino por ser también diferentes los nombres de los investigadores más conocidos de ambas percepciones: Edgar Rubin (figura-fondo) y Max Wertheimer (principio Gestalt).

En 1911 Max Wertheimer (Wertheimer, 1912), psicólogo alemán, se preguntó como se podía explicar la ilusión de movimiento aparente que origina un estroboscopio, a partir de la experiencia creada por sensaciones individuales. El estroboscopio, un dispositivo mecánico que crea una ilusión de movimiento alternando rápidamente entre dos imágenes ligeramente distintas fue el causante de que Wertheimer se planteara una explicación a este fenómeno por las teorías estructuralistas. Puesto que no existe tal movimiento, sino tan solo dos estímulos fijos que aparecen y desaparecen, la pregunta que se planteó Wertheimer era la siguiente: ¿Cómo es posible que este movimiento aparente entre dos estímulos esté causado por una suma de sensaciones?

En el espacio comprendido entre los dos estímulos, no hay estimulación que pueda dar una explicación al movimiento suscitado.

En varias ocasiones (Wertheimer y sus compañeros Kurt Koffka e Ivo Kohler) pusieron en entredicho la teoría estructuralista: Las percepciones se crean a partir de sensaciones (Goldstein, 2002).

Un ejemplo clarificador es el que vemos en la figura 1.8, los contornos ilusorios (Bradley and Petry, 1977). Los estructuralistas encontrarían muchas dificultades a la hora de explicar la ilusión creada ya que sucede lo mismo que en el movimiento aparente: no hay sensaciones que puedan llevar a la percepción. Ejemplos como este llevaron a los psicólogos de la Gestalt a establecer el principio fundamental de la psicología de la Gestalt (Wertheimer, 1925): El todo es diferente a la suma de sus partes.



Figura 1.8 Las aristas aparecen como contornos ilusorios, formando una pirámide en a y un cubo en b.

El hincapié en el «todo» de los psicólogos de la Gestalt, los llevó a determinar la organización perceptiva, (de qué manera los elementos pequeños se agrupan para formar objetos más grandes). Como vemos en la figura 1.9, las manchas se agrupan para formar la figura de un dalmata, mientras otras manchas se agrupan para formar su sombra en un segundo plano.



Figura 1.9 Fotografía adaptada de R.C. James en la que algunas manchas negras y blancas se organizan perceptivamente para formar un dálmata.

El enfoque de la Gestalt trata de explicar la organización perceptiva proponiendo diversas reglas que vemos a continuación (Helson, 1987).

Las leyes (principios) de la organización perceptiva de la Gestalt

Las leyes junto con los principios, forman un conjunto de reglas que aclaran el modo en el que organizamos las partes pequeñas de un todo.

Ley de la pregnancia

También recibe el nombre de la ley de la buena figura o ley de la simplicidad y establece: Todo patrón estimular tiende a percibirse con la forma resultante más simple de todas.

Como vemos en la figura 1.10 es un ejemplo de la ley de la simplicidad, en la que vemos esta conocida marca de coches en la figura 1.10a y no como formas más complejas como en 1.10b.

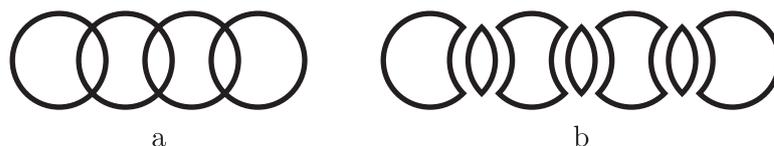


Figura 1.10 Ejemplo de la ley de pregnancia. a) Percepción de la imagen más simple. b) Percepción compleja de la imagen.

Ley de la similitud o semejanza

La mayor parte de las personas tendemos a asociar los objetos por similitud en la forma. Un ejemplo de ello es que en la figura 1.11a la percibimos como filas horizontales de círculos, columnas verticales de círculos o como ambas. Nuestra percepción cambia al sustituir algunos círculos por cuadrados como muestra la figura 1.11b, la gran parte de los observadores percibirán columnas verticales de cuadrados y círculos. La ley de la similitud se enuncia así: Los estímulos que son semejantes tienden a percibirse agrupados.

Esta ley hace que los círculos se agrupen con otros círculos y los cuadrados con los otros cuadrados. Este agrupamiento también se puede producir por similitud en luminosidad, matiz, tamaño y orientación.

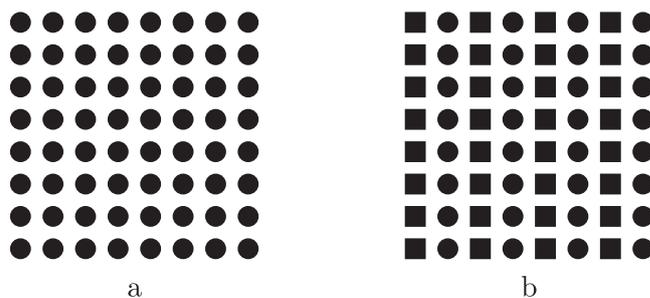


Figura 1.11 Ejemplo de la ley de la similitud o semejanza. a) Percepción de filas o columnas de círculos. b) Percepción de columnas de cuadrados y círculos.

Ley de la buena continuación

Los cables eléctricos, del ordenador, la radio o cualquier electrodoméstico casero son un buen ejemplo gráfico de esta ley. Un cable que comienza en un punto fluye de forma suave hasta otro punto. En este recorrido no da vueltas bruscas ya que no se cumpliría la ley de la buena continuación: Los estímulos que, cuando están conectados, dan lugar a líneas rectas o ligeramente curvadas, se consideran como pertenecientes al mismo objeto, y las líneas tienden a verse del modo que siga la trayectoria más suave.

La ley de la buena continuación también nos ayuda a percibir los círculos de la conocida marca de coches de la figura 1.10a de una forma suave.

Ley de la proximidad o cercanía

La percepción de los círculos de la figura 1.10a cambia con la proximidad. Como vemos en la figura 1.11a, al juntarlos en una dimensión, esta figura la percibimos como filas de círculos horizontales, dando a entender la ley de la proximidad: Agrupamos los estímulos que están próximos entre sí.

Aunque cambiemos uno de cada dos círculos por cuadrados, como hemos hecho en la figura 1.11b seguimos percibiendo filas horizontales, en este caso de cuadrados y círculos. La ley de la proximidad prevalece sobre la ley de la similitud.

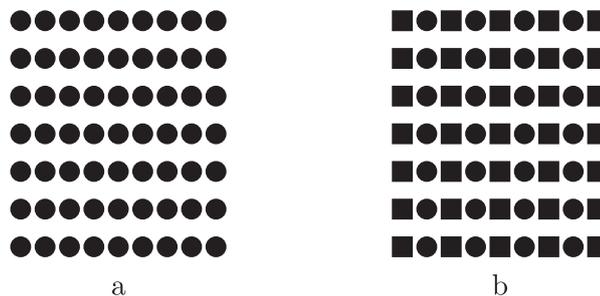


Figura 1.11 Ejemplo de la ley de la proximidad. a) La figura es percibida como filas horizontales de círculos. b) La figura se sigue percibiendo como filas de cuadrados y círculos.

Ley del destino común

Los bailarines, al formar una coreografía en conjunto, forman un grupo debido a su cercanía y a la similitud en su orientación. Sin embargo lo más importante que percibimos es que tienen un destino común es decir se están moviendo en la misma dirección. La ley del destino común establece: Los estímulos que se mueven en la misma dirección parecen pertenecer al mismo objeto.

Es fácil imaginar que los coreógrafos pueden no estar familiarizados con las leyes de la Gestalt, aún así son conscientes de que una forma de crear agrupaciones perceptivas se da en la creación de bailarines moviéndose en conjunto.

Ley de la significación o familiaridad

La forma en la que la significación afecta a la organización perceptiva la podemos ver en la figura 1.12 Según la ley de la significación o familiaridad: Un conjunto de estímulos se percibirá como un grupo u objeto si dicho objeto parece familiar o significativo.

El cambio de percepción en la figura 1.12 de «grupos de rocas» o «árboles en un bosque» a caras reales, es un cambio en la organización perceptiva de las rocas y los árboles. Las dos rocas se perciben en primer lugar como rocas separadas en un paisaje y se agrupan perceptivamente cuando se convierten en el ojo izquierdo y derecho de una cara. Lo mismo ocurre con la nariz y la boca. De hecho quedan organizadas como una cara y nos resulta muy difícil poder verlas como rocas separadas.



Figura 1.12 El bosque tiene ojos, por Bev Doolittle (1985).

Ley del cierre

La ley del cierre tiende a favorecer la figura más completa. Como es el caso que representamos en la figura 1.13 tendemos a ver rectángulos y en la figura 1.14 un caballo con su jinete.

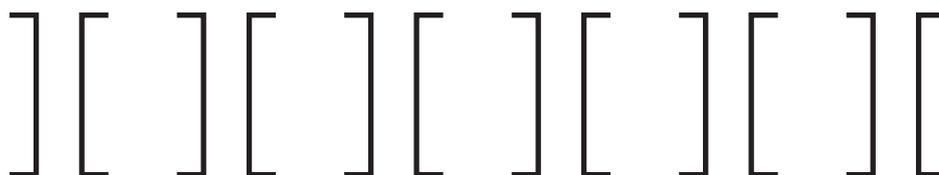


Figura 1.13 Tendemos a ver rectángulos en favor de la ley del cierre.



Figura 1.14 Reconocimiento de una figura incompleta por la ley del cierre.

Leyes de la Gestalt como principios heurísticos

Desde un principio Wertheimer, Koffka y Kohler consideraron las reglas que antes hemos mencionado como leyes, sin embargo la mayor parte de los psicólogos considera más apropiado el término de principios. Rechazan el término leyes porque no proponen, los psicólogos de la Gestalt, unas reglas que hagan predicciones sólidas. El término heurístico se ajusta mejor ya que los heurísticos son reglas generales que ofrecen la mejor solución a un problema.

Teniendo dos procesos para la solución de un problema, un algoritmo y un proceso heurístico, el algoritmo buscaría sistemáticamente todas las posibilidades una detrás de otra de dónde se ha podido esconder nuestro perro, por ejemplo. Mientras que el proceso heurístico miraría primero en los lugares que el perro suele esconderse.

Decimos que son principios heurísticos porque no siempre funciona la mejor predicción.

Es obvio que los principios de la Gestalt reflejan regularidades comunes que vemos constantemente en el ambiente. Esto ocurre independientemente de si los principios de la Gestalt se deben a partir de la evolución, de si están determinados por el aprendizaje que realizamos durante nuestro desarrollo o de si se deben a una combinación de ambos factores.

El principio de la región común

La figura 1.15 es un ejemplo del principio de la región común: Los elementos que están dentro de la misma región del espacio se perciben agrupados.



Figura 1.15 Principio de la organización perceptiva de la región común.

Como vemos en la figura, aún estando los puntos dentro de las elipses más alejados que los puntos que están entre las elipses, percibimos los puntos que están dentro de las elipses como pertenecientes al mismo grupo. Esto es debido a que la elipse se ve como una región de espacio separadora.

El principio de la conexión entre elementos

En la figura 1.16 percibimos una serie de elementos, pesas y no de puntos. Sin embargo los puntos separados por espacios están mas próximos que los conectados por líneas. Este es el principio de la conexión: Los estímulos que están físicamente conectados los percibimos como unidad.



Figura 1.16 Principio de la organización perceptiva de la conexión entre elementos.

El principio de la sincronía

El principio de la sincronía establece: Los estímulos visuales que ocurren al mismo tiempo se percibirán como pertenecientes a una misma unidad.

En la figura 1.17, las luces que parpadean se perciben como pertenecientes a la misma unidad. La sincronía es como el principio del destino común, los dos son dinámicos. La sincronía también puede ocurrir sin movimiento, una luz puede apagarse y otra encenderse, pero si ambas cambian a la vez, se percibirán como pertenecientes al mismo grupo.



Figura 1.17 Principio de la organización perceptiva de la sincronía. Las luces indicadas con círculos blancos parpadean juntas.

Segregación perceptiva: Relación figura-fondo

En nuestro entorno, por lo general, no percibimos un objeto aislado sino muchos objetos distintos y juntos. Nuestra capacidad de separar perceptivamente unos de otros recibe el nombre de segregación perceptiva.

En la figura 1.9, organizamos perceptivamente las manchas negras para formar un dalmata y además separamos el dalmata del fondo (segregación perceptiva). Tanto los psicólogos de la Gestalt como los actuales se preguntaron sobre el modo en que se produce esta segregación.

Los psicólogos de la Gestalt pretendían definir las propiedades de la relación figura-fondo, y descubrir los motivos que hacen que un área se vea como fondo y otra se

vea como figura. Para estudiar las propiedades de la relación figura-fondo emplearon patrones como el de la figura 1.18, realizado por Edgar Rubin. Este patrón es un ejemplo de figura-fondo reversible. Podemos ver dos caras negras que se están mirando o una especie de jarrón blanco sobre fondo negro.

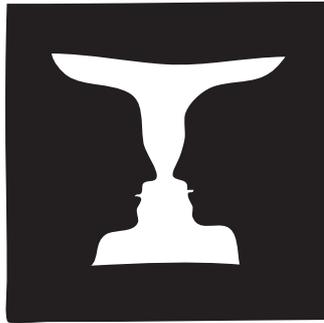


Figura 1.18 Versión del vaso de Rubin (1921).

Algunas de las propiedades de la figura y el fondo son:

1. La figura tiene más forma de objeto y puede almacenarse en la memoria mejor que el fondo.
2. La figura se ve delante de el fondo.
3. El fondo se ve como un material sin forma que tiende a extenderse detrás de la figura.
4. El contorno que separa la figura del fondo parece pertenecer a la figura.

Estas cuatro propiedades son fácilmente comprobables en la figura 1.18. Cuando vemos el vaso, lo hacemos delante del fondo negro y al ver las dos caras enfrentadas, las vemos delante del fondo blanco. Al percibir una de las figuras resulta casi imposible percibir la otra figura al mismo tiempo. El fondo se describe como material sin forma, así al percibir el área clara como figura, el vaso aparece en primer plano. De manera similar ocurre al ver las caras negras como figuras, automáticamente el área clara pasa a ser fondo sin forma y está en segundo plano.

Los psicólogos de la Gestalt propusieron varios factores que determinan qué parte de una imagen se verá como figura. Sin embargo no hay interpretaciones «correc-

tas» de estas imágenes, aunque se ha demostrado que algunas propiedades de los estímulos influyen en las áreas que se ven como figuras y en las que se ven como fondo. Una de las propiedades es la simetría. Las áreas simétricas tienden a verse como figuras.

En la figura 1.19 las áreas simétricas blancas de la izquierda (a) y las negras de la derecha (b), se ven como figuras.

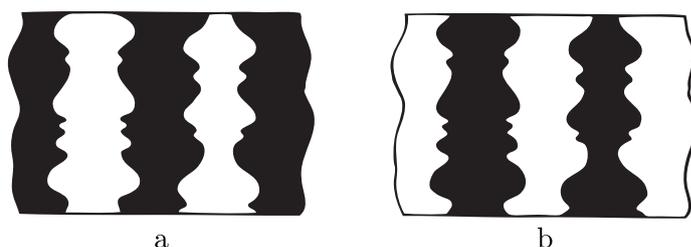


Figura 1.19 Simetría y fondo de la figura.

De la misma manera vemos como figuras los objetos convexos en la figura 1.20, por ser en su mayoría de esta forma en el mundo que nos rodea.

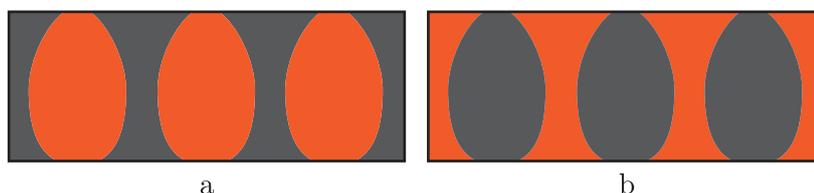


Figura 1.20 Ejemplo de figuras convexas.

En la figura 1.20a las formas anaranjadas las consideramos figuras por su forma convexa al igual que las formas grises de la figura 1.20b.

Otra de las propiedades que se han podido demostrar es el efecto de la orientación en la percepción de la figura y el fondo. Al ver la figura 1.21, tiene más posibilidades de verse como figura la cruz negra que la blanca. Esto se debe por dos razones:

Los estímulos con áreas comparativamente más pequeñas tienen más posibilidades de verse como figuras.

Las orientaciones verticales u horizontales son más fáciles de ver como figuras.

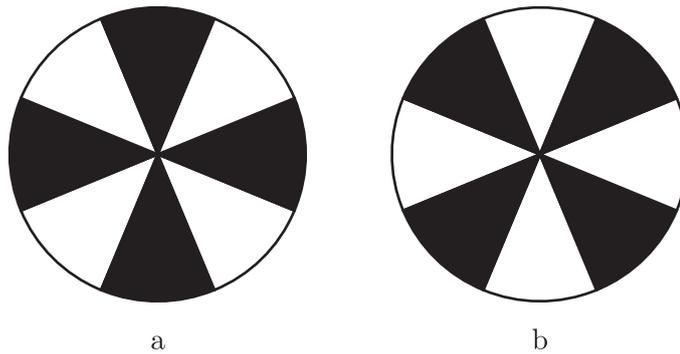


Figura 1.21 Las orientaciones verticales y horizontales se perciben más fácilmente como figura. a) Cruz negra sobre fondo blanco. b) Cruz blanca sobre fondo negro.

Los observadores son sensibles a la estructura de los patrones Gestalt. Beck (Beck, 1966) realizó una experiencia en la que interviene la organización perceptiva, mostrando que la segregación perceptiva puede estar influida por la orientación de las líneas que comprenden la figura. Cuando a los observadores se les pide que dividan la figura 1.22 en dos partes, la división se basa principalmente en la orientación de los dibujos que componen la figura.

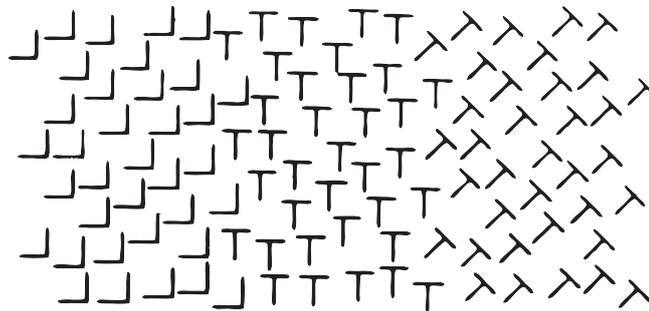


Figura 1.22 Estímulo utilizado por Beck (1966).

Los dibujos con las líneas orientadas en la misma dirección se agrupan juntos. En el ejemplo, la similitud de los dibujos no fue un factor perceptivo importante.

Una última característica al observar la relación figura y fondo es que los objetos significativos tienen más posibilidades de verse como figuras. Para poder ver este ejemplo miremos la figura 1.23, reconoceremos la mancha negra como figura sin lugar a duda.

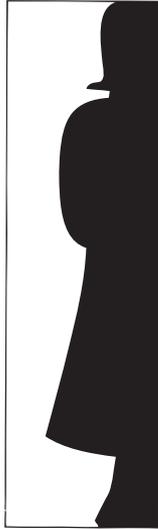


Figura 1.23 Ejemplo de objetos significativos como figura. Estímulo del experimento de Peterson et al. (1994).

Peterson et al. representaron una imagen como la de la figura 1.23 que puede percibirse de dos formas: una mujer de pie (parte negra de la imagen) o una forma menos significativa (la parte blanca de la imagen).

Cuando Peterson et al. presentaron el estímulo (una fracción de segundo) a sus observadores tal y como está en la figura 1.23 y preguntaron cuál de las dos regiones parecía como figura, descubrieron que todos ellos tendían a señalar la parte significativa (la mujer de pie) como figura. Al darle la vuelta a la imagen siendo más difícil reconocer la mujer de pie, los observadores presentaron menos tendencia a señalar el área negra como figura (Peterson and Gibson, 1994).

Actualmente los psicólogos modernos han ampliado los trabajos iniciados por la Gestalt, analizando dos temas relacionados con la figura y fondo:

1. La función de los contornos en la percepción de la figura y el fondo.
2. Momento exacto del proceso perceptivo en el que se produce la segregación de la figura y el fondo.

Un modo de estudiar la segregación figura-fondo es prestando atención al contorno que divide la imagen en dos áreas, figura y fondo, reversibles. Como hemos visto en

la figura 1.8, podemos comprender cómo en esta imagen solo vemos como figura o como fondo un área cada vez. Las posibilidades que existen de que dos figuras, en este caso un jarrón y dos caras, tengan exactamente el mismo perfil son muy remotas y en este caso podemos apreciar dos caras o un jarrón ya que sus contornos coinciden exactamente.

Esto nos lleva a recordar que los principios de la psicología de la Gestalt, ofrecen la mejor predicción de lo que puede ser un estímulo en concreto. Al ser muy improbable que dos contornos sean idénticos y puedan alinearse perfectamente, el sistema visual adopta la ocurrencia más probable.

El significado del área puede ayudar a determinar si vemos la mancha como figura o como fondo, pero ¿En que momento del proceso perceptivo entra en acción el significado del área? Una teoría que está bastante extendida y goza una amplia aceptación entre los investigadores es que en primer lugar, la figura se separa del fondo y después se reconoce el significado de la figura. Sin embargo se ha probado que la segregación figura-fondo no tiene por qué ocurrir antes del reconocimiento. Puede que se produzca algo de reconocimiento antes de que se perciba la figura, o puede que la percepción de la figura y el reconocimiento de su significado se produzcan aproximadamente al mismo tiempo. En definitiva: La percepción no es un simple proceso lineal.

Color

El color a través de los tiempos

La mayoría de los tratadistas de la historia del color la inician en el siglo V a. de J.C. con los escritos de Empédocles y Demócrito.

Empédocles para llenar su paleta cuatricromada, se fija en la naturaleza, y en ella encontramos el blanco (relacionado con el fuego), el negro (el agua), el rojo (la tierra) y el ocliran (color indefinido que tan pronto representaba el verde como el amarillo) relacionado con el aire (Castillo, 2005).

El cuarteto fundamental (cuatro colores simples o primarios) de Demócrito coincide prácticamente con el de Empédocles, diferenciándose únicamente en su concepción filosófica. Con este autor el blanco está relacionado con la suavidad, el negro con la aspereza, el rojo con el calor y el chloron (una vez más verde y amarillo) con lo sólido y vacío. El chloron es el primer testimonio escrito de que el verde y amarillo son dos versiones de una misma tonalidad.

Como muestra de la gran variedad de colores que se obtiene con la mezcla de estos cuatro primarios citaré algunos de los que habla este autor en sus escritos: el índigo, el cobrizo, el púrpura, el color azufre, el carmesí, el verde tierra, etc.

Los esquemas de Empédocles y Demócrito fueron probablemente el punto de partida de las teorías desarrolladas por Platón y Aristóteles en el siglo IV a. de J.C., teorías, que por su ingenio y racionalidad (teniendo en cuenta los conocimientos de aquella época), ocupan un lugar de honor en la historia de la ciencia, siendo citas imprescindibles en cualquier estudio cronológico, por superficial que sea, de visión de los colores.

Platón (427 - 348 a. de J.C.) en uno de sus diálogos del último período «El Timeo» estudia a fondo la visión del color, considerándolo un género sensible; sus argumentos son de una lógica aplastante pero con algunos supuestos, como por ejemplo la interacción de tamaños y velocidades en el encuentro de ambos fuegos (el exterior y el interior), de difícil digestión leídos 25 siglos después de su exposición (Ronchi, 1952).

Para este autor el color es debido a un fuego (fuego es la palabra empleada por Platón, hoy la sustituiríamos por energía) que dimana de cada uno de los cuerpos que lleve partículas específicas que pueden producir la sensación visual al inferir con el fuego existente en nuestro interior (fuego vital). Estas partículas que procedentes de los cuerpos son proyectadas sobre el órgano de la vista, pueden ser mayores, iguales o menores que los canales visuales del mismo.

Las que son iguales no las percibimos y las llamamos diáfanas, las más grandes estrechan (cierran) el órgano de la vista y las más pequeñas lo disocian; son respecti-

vamente las partículas negras (causantes de la sensación del negro) y las partículas blancas (causantes del blanco). Además de por el tamaño de las partículas el fuego se distingue por su velocidad: el muy rápido, produciendo una gran distorsión en nuestro fuego interno, da lugar al color «brillante» (el verde); el menos rápido introduciendo una pequeña distorsión es el causante del rojo.

Partiendo de estos cuatro colores (blanco, negro, brillante y rojo) mezclándolos en número y proporción variada, Platón nos da el siguiente espectro:

Tabla 1.1 Espectro según Platón.

| Colores simples: Rojo, Brillante (verde), Blanco y Negro. | |
|---|---------------|
| Brillante + Rojo | Amarillo |
| Rojo + Blanco + Negro | Púrpura |
| Rojo + Blanco + Negro + Negro | Pardo oscuro |
| Brillante + Rojo + Blanco + Negro | Pardo claro |
| Blanco + Negro | Gris |
| Brillante + Blanco + Negro | Azul |
| Brillante + Blanco + Negro + Blanco | Verde azulado |
| Brillante + Rojo + Blanco + Negro + Negro | Verde oliva |

El tener en cuenta el tamaño de las partículas, envuelve una idea de medida, idea necesaria si se le quería atribuir belleza al color, ya que para los griegos, la belleza es una consecuencia de la simetría (igualdad) y de la simplicidad en la proporción en que se mezclan los componentes de cualquier obra artística. La mayor o menor belleza de un color dependerá de la proporción de los diferentes tamaños de las partículas contenidas en el fuego que filtrándose en el ojo nos hace percibir un color.

Abundando en esta idea, en el «Filebo» Platón se refiere a la intrínseca belleza de los colores simples (puros) por analogía con las formas geométricas simples, pero sin precisar la relación concreta color-forma geométrica.

La presencia de la dualidad tamaño-movimiento en el color percibido, nos puede hacer pensar, aunque con bastantes reservas, en aspectos ondulatorios del movimiento, con lo que en mi opinión podríamos añadir el nombre de Platón al de Aristóteles al hablar de los precursores de la teoría ondulatoria de la luz.

Aristóteles (384 - 323 a. de J.C.), unos años más tarde con un interés mayor en la comprobación experimental, presenta un estudio más completo (pero, en cierto modo, aún incomprensible para nosotros) del color, considerando al igual que Platón colores básicos al blanco y al negro.

Aristóteles, un enamorado del movimiento, es el padre de la escuela peripatética, los diferentes colores se caracterizan por diferencias en el movimiento del fuego externo. Para este autor, la luz, el diáfano es un fuego tranquilo, perezoso, uniforme sin complicaciones, convirtiéndose en color cuando, por alguna razón, se activa, acelerando su movimiento, que adquiere distintas formas de propagación. (La idea es relacionar el color con diferencias en la forma del movimiento, le ha valido el ser considerado precursor de la teoría ondulatoria).

En función de estos movimientos, Aristóteles identifica, junto al blanco y negro, cinco colores intermedios puros: amarillo, escarlata, violeta, verde, azul negro (gris), formando una escala de colores imitando a la escala musical, que conocía bien, y que por analogía le proporcionaba el método de generar los colores intermedios, mediante proporciones numéricas. El resto de los colores son mezclas de los siete primarios (puros) de la escala.

Desgraciadamente este intento de atribuir valores numéricos a los colores simples de la escala y a las mezclas cromáticas en general, resultó bastante confuso, por lo que se puede afirmar que prácticamente ninguno de sus discípulos intentó repetirlo considerándolo imposible, llegando alguno de ellos a negar belleza a los colores por tal causa (carecer de simetría y estar desprovistos de relación numérica en sus partes).

La idea que Aristóteles tiene de los colores puros coincide prácticamente con el concepto actual, como se puede deducir de su comentario sobre el Arco Iris (expuesto

en su Meteorológica) al afirmar que colores puros son los que los pintores no pueden fabricar.

Aprovecho la referencia al Arco Iris para llamar la atención de que los cinco colores básicos de Aristóteles son los cinco colores estelares en que Newton 20 siglos después descompone su Arco iris.

Según Aristóteles los colores no pueden estar contenidos en la luz, por ser más oscuros que ésta (pensamiento sostenido 20 siglos más tarde por Goëthe [Goëthe, 1840]) pero para verlos necesitamos la luz escribiendo textualmente: El color es visible a la luz.

No cabe duda que para Aristóteles el color es una propiedad de los cuerpos y del cuerpo humano, en cuanto a la intervención que éste tiene en todos los fenómenos sensoriales.

Daza de Valdés recoge este pensamiento de Aristóteles, afirmando en su «Uso de los Anteojos» que con poca luz no vemos los colores de las vidrieras porque no tiene fuerza para arrancarlos de su superficie y hacerlos llegar a nuestros ojos (Daza de Valdés, 1623).

En los siglos siguientes a Platón y Aristóteles, época conocida como Antigüedad Tardía (primeros siglos de la era cristiana) solo merece destacarse en el estudio de la luz y del color a Plotino (205 - 270) religioso griego, discípulo de los anteriores, que, como sus maestros, considera los colores como modalidades de luz engendrados por la reflexión luminosa o por efecto de la incidencia de la luz sobre la materia.

Aunque en principio niega a los colores toda posibilidad de belleza por la dificultad que ya se ha dado de interpretarlos en términos numéricos (falta de simetría y de proporciones armónicas), estando, como religioso, muy interesado en explorar la naturaleza del alma y sus vías de contacto con el Ser Supremo, termina relacionando la luz y los colores con los valores espirituales, por lo que en definitiva no tiene más remedio que aceptar su belleza.

A partir de este religioso y hasta bien entrado el siglo XVII se puede sin gran remordimiento silenciar los diversos escritos sobre el color, protagonizados todos ellos por el blanco y el negro, con la excepción a todo caso de Thomas Herriot, que, por haber obtenido en 1590 los colores con un prisma, es en realidad el padre del Arco Iris, paternidad que 70 años más tarde reconoce el propio Newton. Leonardo da Vinci (1492 - 1519) ya se había dado cuenta de las franjas con los colores del Arco Iris, que se observan alrededor de los objetos vistos a través de los cristales hexagonales de berilo (silicato de aluminio).

Ya en este siglo (el XVII), podemos tomar como principio del conocimiento actual del color el resultado de aglutinar, en la tabla 4.2, los esquemas de tres grandes pensadores de los siglos XVII, XVIII y XIX, Newton, Goëthe y Schopenhauer.

Tabla 1.2 Principio del conocimiento del color. Newton, Goëthe y Schopenhauer.

| | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Isaac Newton | Johann Goëthe | Arthur Schopenhauer |
| 1642 - 1727 | 1749 - 1830 | 1788 - 1860 |
| Finales del Siglo XVII | Finales del Siglo XVIII | Finales del Siglo XIX |
| Física del color | Percepción del color | Sensación del color |

Para Newton el color está en los distintos rayos que componen el haz luminoso; ni siquiera está en la fuente luminosa que él considera incolora, sino, como hemos dicho, en los rayos emitidos por aquella. El color que vemos en los cuerpos no es porque éstos lo hayan transformado con la refracción, reflexión, dispersión, etc., los rayos siguen inalterables, los cuerpos se han limitado a absorber unos y reflejar más o menos otros, del conjunto reflejado depende el color con que veremos los cuerpos.

Se puede leer en su biografía que el entusiasmo de Newton por el color fue debido a poder ver desde su habitación en el Trinity College de la Universidad de Cambridge, el Arco Iris formado en el cielo de la granja llamada Wooltshorp Manor (su lugar de nacimiento) en el condado de Lincolnshire a 10 horas a caballo. (Figura 1.24).



Figura 1.24 Imagen del Arco Iris sobre el lugar de nacimiento de Newton, Wooltshorp Manor, vista desde su habitación en la Universidad de Cambridge.

El Arco Iris es una circunferencia completa, el que solo veamos un arco es debido a que nuestro planeta, la tierra, nos oculta el resto, observándolo desde un avión (figura 1.25) se puede ver completo.



Figura 1.25 Fotografía del Arco Iris formando una circunferencia casi completa.

En realidad deberíamos de hablar en plural ya que el Arco Iris es doble, el segundo Arco Iris (figura 1.26) es producido por dos reflexiones y dos refracciones en cada gota de agua. La segunda reflexión invierte el orden de los colores, aparte de debilitar la intensidad.



Figura 1.26 Fotografía del doble Arco Iris.

Según este científico todo el mérito está en lo que los artistas actuales llaman color-luz, o sea, el color ya existe en la radiación que ilumina el objeto.

Esta idea hiere profundamente al filósofo Goëthe enamorado de la luz, para el que la luz blanca, el blanco, no es un conglomerado de colores sino una unidad pura, que al incidir en no importa que superficie, ésta lo destroza, lo oscurece más o menos (pensamiento coincidente con Aristóteles). De la calidad y envergadura del destrozo depende el color con que vemos los objetos.

El color no existe en la luz que llega al objeto, siendo éste su verdadero creador, para este filósofo solo existe lo que en el vocabulario actual se conoce con el nombre de color volumen (el color pigmento de los artistas) que no cabe duda tiene mucha más fuerza que el color luz, (espectro de la energía radiante) como lo prueba «la constancia» el percibir el mismo color en el objeto aunque cambie dentro de ciertos límites el espectro de la luz que lo ilumina.

Completando estas dos posturas están las ideas de Schopenhauer, ya a mediados del siglo XIX, que enamorado de lo subjetivo (de las sensaciones) al estudiar los colores por indicación de su maestro Goëthe, le gana a este en su idea de la pureza del blanco y fiel a su mentalidad, coloca lo subjetivo por encima de lo objetivo.

La luz llega a nuestro ojo sin ser aun color, siendo solo energía. La que no produce reacción alguna en la retina, es la responsable de la visión del negro, la que actúa en su totalidad lo es del blanco, siendo el mayor o menor porcentaje de la actuación lo que crea una u otra sensación de color. Para este autor las características de la

imagen retiniana marcan el principio de la conversión de la energía exterior-luz en la respuesta perceptiva del color, (idea acorde con nuestros conocimientos actuales).

Partiendo de los colores de las postimágenes, habla de colores complementarios entendiendo por tales, los que complementan la acción de la radiación en la retina. Así si el azul responde a un tercio de acción, su color complementario será el que actúa con el porcentaje 2/3, que corresponde al anaranjado. Su coexistencia (actuación total) dará como respuesta una sensación de blanco (acromaticidad).

Con esta idea de complementariedad establece su conjunto de colores básicos (su espectro), en cuyos extremos está el blanco y el negro, y en el centro la pareja de rojo-verde (figura 1.27), casi igualados en cuanto a acción (no nos extraña esta casi equiparación, ya que en las anomalías de la visión cromática son casi siempre esta pareja la que causa más problemas).

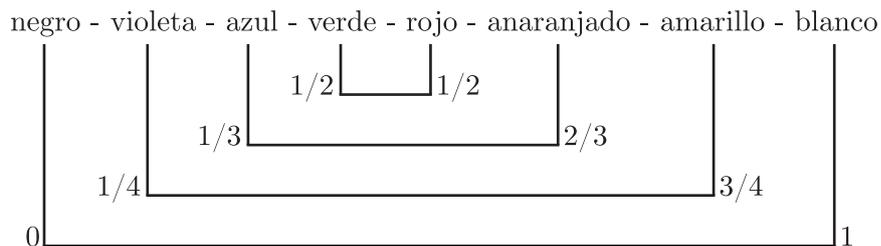


Figura 1.27 Conjunto de colores básicos según Schopenhauer.

Fisiológicamente hablando, la idea de un espectro formado por colores complementarios (colores que se anulan al coexistir) también se ha confirmado plenamente a lo largo del pasado siglo al comprobarse la existencia, tanto en la retina como en el cuerpo geniculado lateral, de campos receptores antagónicos formados por parejas rojo-verde, amarillo-azul y blanco-negro (De Valois and De Valois, 1988).

No quiero terminar esta «historia» del color, sin insistir en que la última y definitiva palabra de lo que entendemos por color pertenece a la psicología, es decir, no quiero terminar sin hablar de:

El color que realmente vemos

En todos los estudios referentes a la visión del color, encontramos como igualdad reina: Color percibido = color superficie + color volumen

Igualdad, que aunque cuesta decirlo no es científicamente exacta, el color percibido no depende solamente de la acción conjunta de la radiación reflejada en la superficie de la capa cromática (color superficie) y de la desprendida por la acción de los pigmentos de la capa en la radiación incidente (color volumen).

El color percibido es la respuesta psicofísica del cerebro a la información contenida, en parte en la radiación que procedente del objeto incide en el ojo en parte a la conseguida por la visión del escenario (o paisaje) en que está inmerso el objeto (doctrina gestaltiana), en parte a la proporcionada por la memoria, consecuencia de percepciones anteriores, y en parte a la formación cultural y al estado sentimental del sujeto.

Los dos contenidos expuestos a continuación: Teoría retinex y la construcción de los colores en la corteza cerebral, aclaran y precisan con rigor científico lo expuesto en el párrafo anterior.

Teoría retinex de la visión del color

A finales de los años cincuenta, Edwin Land, presidente de la Polaroid Corporation pronuncia en la Academia Nacional Americana de Ciencias una interesante conferencia en la que mostró una desconcertante experiencia que asombrando a la mayoría de los presentes, en pocas semanas se convirtió en centro de discusión de los más conocidos laboratorios dedicados al estudio del color.

Land fotografió en blanco y negro una misma escena policromada dos veces: una a través de un filtro verde y la otra a través de uno rojo. Sobre una pantalla blanca proyectó las dos diapositivas, la primera sin ningún filtro y la segunda a través de un filtro rojo. En la pantalla que solo deberían verse rojos más o menos saturados, se ven todos los colores de la escena retratada.

En su explicación, basándose en las propiedades de adaptación y constancia de la sensación cromática, Land pretende llegar a la conclusión de que dos mecanismos retinianos bastan para obtener la sensación completa en toda la gama de colores (Land and McCann, 1971).

En aquella época en que estaban afianzándose las ideas que han conducido a las teorías de la visión cromática, hoy día en vigencia y en las que en todas, con distintas variantes se acepta la existencia de al menos tres mecanismos retinianos sus conclusiones merecieron la repulsa de la mayor parte de los estudiosos de la materia y sus experimentos quedaron relegados al capítulo de ciencia recreativa. Land y su equipo no se desmoralizaron por esta acogida y continuaron trabajando en el mismo tema.

A los 25 años de aquellos experimentos, Land realiza unos nuevos mucho más completos con los que intenta explicar la parte que el sistema nervioso tiene en la constancia de los colores y con conclusiones bastante diferentes a las ya citadas (entre otras innovaciones acepta la cooperación de tres mecanismos de la visión cromática), logra cambiar la postura de los científicos, muchos de los cuales manifiestan una prudente reserva, prácticamente desaparecida después de los experimentos de Zeki en apoyo de su tesis.

En el trayecto recorrido por los impulsos nerviosos que desencadenan la visión de los colores retina - cuerpo geniculado - corteza visual, prescinde de las codificaciones intermedias interesándose solo por la relación existente entre el espectro incidente en la retina (magnitud física) y el resultado de la acción cerebral, transformándolos en sensación (magnitud psíquica).

Esta simplificación del fenómeno, resultado final versus estímulo inicial, justifica el nombre de retinex (retina más corteza cerebral) con que se conoce a esta teoría.

Para evitar que el conocimiento de los objetos pueda intervenir en forma de información suplementaria (memoria), Land emplea como test un conjunto de rectángulos de distintos colores, tamaño y dimensiones relativas, contruidos con papel mate (prácticamente difusores perfectos) formando un complejo multicolor sin formas reconocibles.

Estos test conocidos como test Mondrian en recuerdo de las obras del famoso pintor holandés (figura 1.28) son muy utilizados por Zeki al ratificar con macacos las experiencias perceptivas de Land.

Sus experimentos, en apoyo de su teoría, han tenido como objetivos principales:

1. Probar la ruptura espectro reflejado - color.
2. Ver colores donde aparentemente no los hay.

Vamos a detallar solamente la primera experiencia por ser la relacionada directamente con la visión del color debido a las capas cromáticas.

Independencia espectro reflejado - color

Las sensaciones de color de cada una de las áreas que componen el test Mondrian dependen principalmente de la comparación relativa de las claridades de cada una de las zonas y muy poco de las claridades aisladas de cada una de ellas, lo que Land prueba con las dos muy conocidas experiencias que describimos a continuación.

Primera: Ilumina el test Mondrian con tres proyectores de radiación respectiva roja, verde y azul, ajustando sus intensidades a unos valores arbitrarios (por ejemplo, que la composición espectral de la luz que incide en el test Mondrian sea la de la luz diurna) y se mide la composición de la luz reflejada por la zona A. A continuación se varía la proporción relativa de las radiaciones de modo que una zona diferente B, refleje el mismo espectro que reflejaba la zona A en la primera fase.

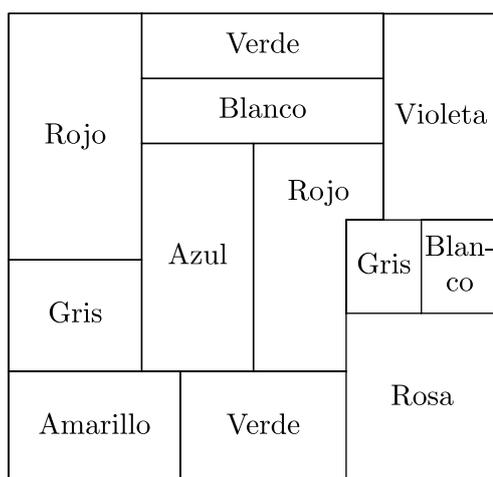


Figura 1.28 Test de Mondrian.

La zona B se ve del color con que se veía A en la primera fase, como sería de esperar si el color percibido estuviera determinado tan solo por la composición espectral.

Segunda: Al cambiar la iluminación de un test de Mondrian (pasando por ejemplo de la iluminación incandescente a la fluorescente) en todas las zonas del mismo, varía el espectro reflejado; sin embargo, al cabo de pocos segundos, seguimos viendo los colores que veíamos antes del cambio de la iluminación, porque prácticamente los valores relativos de las distintas zonas del test han permanecido constantes.

Land justifica estos resultados afirmando: La banda psicovisual, presente en la corteza cerebral, disocia el color de cualquier aspecto de la dualidad física, en especial de su precisa composición espectral (no la elimina totalmente) aproximando su construcción a las verdaderas constantes de las superficies observadas, principalmente a sus niveles de luminancia.

Dentro de esta línea, Land añade que la banda psicovisual, asigna color a un área comparando las distintas claridades reflejadas por el escenario visual (si vemos conjuntamente tres superficies: blanca, gris débil y gris fuerte, seguiremos viéndola con esta escala: blanca, gris débil y gris fuerte, independientemente de que la energía que más ilumina sea mucha o poca).

Con lo dicho la teoría retinex se puede resumir afirmando que el modo más sencillo de comprender la visión de los colores, es empezar por demostrar que es un fenómeno comparativo, que el cerebro independiza de las energías absolutas.

A pesar del indiscutible atractivo de la teoría retinex, hay que leer con cierta prudencia el «independiza de las energías absolutas» que solo puede tomarse al pie de la letra en condiciones extremas como reconoce el mismo Land al escribir en 1971 (Aguilar, 2002): *When we measure the amounts of light in the world around or when we create artificial worlds in the laboratory, we find that there is not predictable relationship between flux of various wavelengths and the color sensations associated with objects.*

Si los cambios en los espectros reflejados ya sean de las zonas analizadas o de las vecinas son solo parciales (espacial o temporalmente) la independencia citada cede el paso a una relación (espectro - color), asombrosamente precisa.

La construcción de los colores en la corteza cerebral

En la segunda mitad del siglo XIX (1876), J.C. Maxwell, autor de las famosas «Ecuaciones de Maxwell» ecuaciones que con concisas formas matemáticas, resumen las leyes básicas, que rigen la propagación y comportamiento de la energía radiante visible (llamada por algunos autores: luz), afirmaba a propósito del origen del color:

Entre los científicos que escriben sobre la visión cromática desde los tiempos de Young, unos suponen que deben estudiar las propiedades de los pigmentos y otros que deben analizar los rayos de luz; todos quieren descubrir el conocimiento de la visión cromática, examinando algo de la naturaleza exterior, algo externo a nosotros mismos. Ahora bien, si la sensación que llamamos color está sometida a ciertas leyes perceptivas, debe ser algo interior a nuestra naturaleza quien fija estas leyes... La ciencia del color debe ser considerada fundamentalmente como una ciencia mental, diferenciada de la mayor parte de las llamadas ciencias mentales, por la gran intervención que tienen en su estudio las ciencias físicas, en particular la óptica y la anatomía.

Esta suave crítica a los tratadistas de la visión del color sigue teniendo plena vigencia en los autores contemporáneos, con gran extrañeza de S. Zeki, (neurólogo especializado en la fisiología cerebral) que se pregunta porqué en la gran mayoría de los estudios sobre color, se da mucha más importancia a la codificación con que la energía incidente llega a la corteza visual que al papel que ésta juega en su construcción.

S. Zeki, insiste en que el cerebro ni analiza ni reconstruye los colores del mundo externo, por la sencilla razón de que no hay colores para analizar.

En la construcción de los colores, la corteza cerebral tiene dos actuaciones perfectamente diferenciadas: la fisiología y la psíquica.

En la primera gracias principalmente a las células sintonizadas al color tiene lugar una última y trascendente codificación de los impulsos nerviosos procedentes de la imagen retiniana, simplificando al máximo la información transportada y facilitando

su transducción a «color» operación de la que se encarga la psicología, obedeciendo a las reglas propias de la percepción visual.

La regla fundamental, indiscutiblemente cierta y a la que probablemente se subordinan todas las demás es:

El cerebro tiende a construir el color lo más independiente posible de los cambios de la realidad física exterior y lo más aproximado posible a sus verdaderas constantes.

Por ejemplo, las hojas de los árboles nos parecen verdes vistas al amanecer, medio día o al atardecer, en un día soleado o nublado, frente al azul del cielo o contra el color castaño de los troncos del resto de los árboles. Si medimos el espectro que llega al ojo en cada uno de los casos considerados, comprobaremos que ha variado bastante, a pesar de que el color de las hojas no lo ha hecho.

El cerebro ha sido capaz de compensar los cambios del espectro manteniendo constante el color. La obvia conclusión de esta constancia del color a lo largo del día es que el cerebro en su construcción utiliza información que no está en la radiación incidente y que no tiene contrapartida en el mundo exterior.

A pesar de ser conscientes del gran papel jugado por las células de la corteza cerebral, en esta última codificación de los impulsos nerviosos originados en los fotorreceptores retinianos, que hace posible su posterior transformación en «color», poco se sabía de los detalles de esta participación hasta que (hace unos 60 años) Hubel, Wiesel, Abramov, Zeki, De Valois y otros investigadores con la ayuda de microelectrodos pudieron obtener resultados objetivos del funcionamiento de las células cerebrales en el «mono rehsus» traspasando sus resultados al hombre por existir bastante evidencia de que su conducta ante los colores es similar a la humana (Aguilar and Blanca, 1995).

El comportamiento e incluso la ubicación de las células responsables de la visión cromática en las distintas zonas visuales de la corteza cerebral, es específico y perfectamente diferenciado del resto de las células relacionadas con los otros aspectos de la visión, lo que Zeki comprobó directamente en el hombre con la tomografía por

emisión de positrones (TEP) que mide la variación de flujo sanguíneo en el cerebro, mientras el sujeto realiza diversas tareas, concluyendo que en la corteza cerebral existen cuatro sistemas paralelos que se ocupan de los diferentes atributos de la visión: dos para la forma, uno para el movimiento y otro para el color. Éste último, aunque con sus células distribuidas en las áreas visuales V-1, V-2, V-3 y V-4, son las de ésta última (V-4), las responsables de la última codificación de los impulsos nerviosos. De esta zona parten la mayoría de las señales hacia el cinturón psicovisual en que se transformarán en color.

En resumen: La visión del color es una actividad del cerebro que, con sus propias leyes y programas, utiliza al máximo la información contenida en los impulsos nerviosos procedentes de la retina. Sus células no son órganos pasivos, sino que, como «mecanismos inteligentes», en función de respuestas anteriores y colaterales, saben modificar la suya propia, adaptándola a las circunstancias del momento para que, en la posterior construcción del color, se conserven lo más posible las verdaderas constantes de la naturaleza exterior, creando su personal conocimiento del mundo en que vive.

Número de colores

No es muy expuesto afirmar que la gran importancia que los colores tienen en nuestra vida, tanto desde el punto de vista estético, como de su valor como fuente de información de nuestro entorno (estado de salud, e incluso anímico de nuestros compañeros, madurez de los vegetales, estado de los alimentos en general, predicciones meteorológicas, etc.) se debe a la gran variedad de colores que somos capaces de percibir.

Al hablar del número de colores es obligado empezar por los colores del Arco Iris, cuyo número, todo el mundo sabemos, sin la menor duda, es de siete.

Esta seguridad flaquearía bastante si leyésemos directamente a Newton o en su defecto a alguno de sus biógrafos. Lectura que nos asombraría al saber que Newton antes de escribir su «Óptica» en sus primeras conferencias dadas en Cambridge, dividió el Arco Iris en once colores principales:

Púrpura, minio, amarillo limón, amarillo oscuro, verde, verde hierba, verde azulado, azul índigo y violeta.

En este listado llama la atención la importancia que concede al amarillo, subdividiéndolo en tres (limón, dorado y oscuro) teniendo en cuenta la estrechez de la onda de energía radiante a la que debemos ver el amarillo; estrechez que lo hace insignificante frente al resto de sus compañeros, por lo que en la naturaleza casi siempre el amarillo está acompañado de sus vecinos rojo y verde, siendo difícilísimo encontrarlo puro, hasta el extremo de que casi tres siglos después un discípulo de Newton, el profesor de la Universidad de Cambridge, F.W. Campbell (1986) fallecido en 1993, popularizó una amenísima conferencia que tituló «In search of the spectrum's allusive yellow - Buscando el amarillo».

Esta división del Arco Iris en once secuencias, presentó a Newton tan gran número de problemas, al querer tratarlas numéricamente por lo que pronto reduce a uno los tres amarillos y los tres verdes, une el púrpura con minio y el índigo con el azul, simplificando el Arco Iris a los cinco colores estelares ya citados por Aristóteles: Rojo-amarillo-verde-azul y violeta.

Estos cinco colores los amplió a siete en 1672 con el naranja y el índigo para que las partes quedaran «más elegantemente proporcionadas entre sí».

La introducción del índigo, una especie de azul (muy difícil de distinguir) solo se comprende por la necesidad de contar con una escala de siete colores equiparables a los siete sonidos de la escala musical; ya que una idea siempre presente en las propuestas de Newton (Newton, 1704), gran amante de la música que conocía muy bien por haber estudiado teoría musical al principio de la década de los 60, era lograr una división musical del espectro de luz blanca.

Después de este breve recorrido por las dudas de Newton, respiramos tranquilos, la sentencia final es: El Arco Iris está compuesto por siete colores.

Satisfacción que elimina la creencia de los que defendían la idea de que el número siete lo había fijado Newton atraído por el misticismo del número siete.

Entre las varias definiciones que se puede dar al término radiación monocromática, la del estudioso del color sería: Anchura de banda en que se percibe en condiciones ordinarias de visión el mismo color.

La CIE sigue con sus definiciones afirmando que la anchura de banda de una radiación monocromática es de 10 nm.

Ahora bien como la radiación visible, la responsable del Arco Iris, ocupa un intervalo de 30 nanómetros (de los 400 a los 700), la conclusión es inmediata: según la CIE el número de colores que componen el Arco Iris es de 300/100 o sea 30 colores.

La Iglesia con una limitación en el número, también selecciona sus colores. El papa Inocencio III, impulsor de las primeras normas sobre los colores litúrgicos, propuso en el siglo XIII que éstos se redujeran a cinco: Blanco, rojo, verde, morado y negro.

Empleando cada uno de ellos en las diferentes fiestas del año litúrgico en función del simbolismo que en aquellas fechas se les atribuía; por ejemplo el rojo asociado a la sangre y a las lenguas de fuego se utilizará en: El domingo de Pasión y el Viernes Santo, el domingo de Pentecostés, en las celebraciones de la Pasión del Señor, en las fiestas natalicias de los Apóstoles y Evangelistas y en las celebraciones de los Santos Mártires.

Además de estos cinco colores en la Ordenación General del Misal Romano de Pablo V (1969) aparece un sexto, el rosa, que en señal de alegría puede sustituir al morado los domingos Gaudete (III de Adviento) y Laetare (IV de Cuaresma).

Una vez más, España es un caso singular y por un privilegio especial añade a estos seis colores el azul en las fiestas de la Inmaculada. Nuestra Iglesia en el número de colores recobra el mítico siete.

El gobierno español también toma cartas en el asunto y hace unos 30 años (1981) publica su norma española según la cual para los españoles existen 48 colores fundamentales (figura 1.29) entre los que podríamos llamar primarios (12) y los secundarios (36).

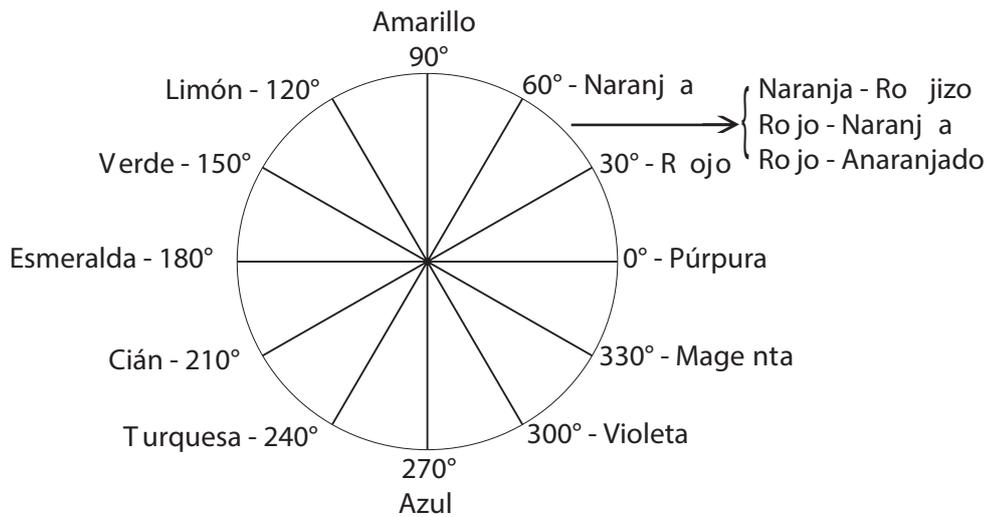


Figura 1.29 Norma española sobre colores fundamentales. Instituto Nacional de Racionalización: Norma Española (1981). Número total de colores $12 + 3 \times 12 = 48$.

Creo interesante notar como prueba de que no se puede ignorar y menos despreciar la historia que así como Newton reencuentra los cinco colores estelares de Aristóteles, el gobierno español reencuentra los once insigniores de Newton.

En todo lo expuesto, el número de colores es pequeño porque en su diferenciación solo hemos tenido en cuenta el tono, cuando en realidad los colores se diferencian no solo por el tono sino también por cualquiera de las otras dos variables, que juntamente con el tono los definen: saturación y claridad.

Teniendo en cuenta estas tres variables, el número de colores es tan grande que para simplificar su elección y vocabulario, los múltiples y diversos usuarios del color (impresión, textiles, arte, alimentos, metalurgia, arquitectura, etc.) han puesto en circulación los «Atlas de Color» en forma de libros que contienen una colección de muestras ordenadas y clasificadas de muy diversas maneras pero siempre en función de simplificar la búsqueda de un color determinado.

El número de muestras, varía de unos atlas a otros, de 500 hasta 10.000, en los atlas con mil o más muestras, en alguna de sus páginas resulta difícil distinguir dos muestras consecutivas, lo que indica lo completos que pretenden ser estos atlas.

Entre los catálogos más utilizados se pueden citar:

1. Sistema NCS (Natural Color System): 1.750 colores.
2. Sistema de color Plonchere: 1.248 colores.
3. Sistema de color Munsell: 1.150 colores.
4. Sistema DIN (Deutsche Institut für Norming): 1.000 colores
5. Pantone (propio de los impresores): 1.000 colores.
6. Sistema de color Ostwald: 943 colores.
7. Sistema de color OSA (Optical Society of America): 558 colores.

Estas 10.000 muestras, más que suficientes para los usuarios del color, no satisfacen a los científicos más exigentes, que estudian la diferenciación cromática en condiciones óptimas de visión (tamaño, forma de la muestra, tiempo de visión e iluminación adecuados, entorno gris, difusión perfecta, etc.).

Entre los científicos de más prestigio que han estudiado el número de colores diferenciables por el hombre no podemos dejar de citar a Mac Adam, experto en umbrales diferenciales cromáticos, que con una claridad constante, presenta un diagrama con 400 tonos diferentes (250 en el espectro y 150 en los púrpuras) y 50 (valor medio en función del tono) saturaciones separables, lo que da un total de: $400 \times 50 = 20.000$ colores.

Cifra que se convierte en insignificante si la comparamos con el número de colores aceptados por la escuela americana capitaneada por D. Judd, que cuenta con numerosos creyentes entre ellos, el Dr. Lorenzo Plaza, introductor del estudio del color en España. Según el Dr. Judd el número de colores que podemos diferenciar es de diez millones, obtenidos como sigue: 400 (250 espectrales y 150 púrpuras) $\times 50$ (valor medio) $\times 500$ (valor medio). Total: $400 \times 50 \times 500 = 10$ millones de colores.

Si en lugar de llamar color a la respuesta perceptiva, asociamos la palabra color a la energía radiante, al estímulo físico que lo produce (como es habitual en algunos autores) y si siguiendo a Newton, no aceptamos en el Arco Iris la existencia de colores primarios o simples junto con otros mezcla de los primeros, sino que a todos ellos los consideramos primarios, tenemos que concluir, como hizo Newton, que el número de colores primarios es infinito, cifra que nos la puede dar el representante de or-

denadores al intentar vendernos una magnífica pantalla cromática, con la pequeña diferencia de que su «infinito» es el resultado de una mezcla.

Definiciones

La definición de color es de lo más difícil y decepcionante que nos podamos imaginar. Creemos tener una idea muy clara del color, pero al querer definirlo nos asaltan enormes dudas sobre los términos que debemos emplear.

El color influye de tal modo en nuestra vida, que es difícil poner límites a lo que debiera ser una definición precisa.

Cualquier definición da la razón a Miguel de Unamuno cuando dice que «Definir es confundir». Cito a continuación las más conocidas:

C.I.E. (International Lighting Vocabulary)

Color: Attribute of visual perception consisting of any combination of chromatic and achromatic content. This attribute can be described by chromatic color names such as yellow, orange, brown, red, pink, green, blue purple, etc., or by achromatic color names such as white, gray, black, etc., and qualified by bright, dim, light, dark, etc., or by combinations of such names.

C.I.E. (Década de los 50 - siglo XX)

Color: Un atributo de la percepción visual que nos permite distinguir dos fuentes luminosas de la misma luminancia tamaño y forma.

W.K. Zworykin - Paris 1956

Color: Is an essential part of our animal experience. It is not merely a luxury added by a gracious providence for our esthetic enjoyment.

John Holmes - 19 Nov. 1986. W.D. Wright 80th Birthday Symposium

Color: Is that which, if we had not got any would make everything black and white.

C.I.E. 1987

Color: Atributo de la percepción visual compuesto de un elemento cromático y otro acromático.

C.I.E. 2000

Color: Característica de la percepción visual que puede ser descrita por atributos de tono, luminancia (o claridad) y colorido (saturación o croma).

R.A.E. Diccionario de la lengua española

Color: Sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda.

Alumna de 4º curso, año 2002

Color: Es la chispa de la vida!

Definición, poco conocida, pero en opinión de M. Aguilar, magnífica.

II Estado del arte: el efecto Bezold

Hemos decidido dividir temporalmente el análisis de los antecedentes del efecto Bezold. Dado que el estudio abarca un gran número de artículos, solo resaltaremos los que a nuestro juicio han resultado importantes en la historia y han supuesto un cambio en la manera de entender este efecto. Este capítulo lo terminaremos con un repaso a lo que ha supuesto el estudio del efecto Bezold en la UPV y lo cerraremos con nuestra propia conclusión.

1839 - 1969

Chevreul descubrió un fenómeno que denominó contraste simultáneo, basado en el principio de la complementariedad. Además de la imagen sucesiva que se obtiene tras una observación prolongada, en las zonas inmediatamente adyacentes al color observado, puede aparecer simultáneamente su complementario, fenómeno conocido como inducción cromática, provocado por un mecanismo fisiológico que se denomina *inhibición lateral*: un área de la retina, cuando es estimulada, inhibe las zonas inmediatamente colindantes, provocando la impresión contraria.

Este proceso es el que provoca que un área clara junto a una oscura aparezca más clara de lo que en realidad es, y viceversa, una oscura parece más clara. A este efecto se le conoce como contraste directo o contraste simultáneo (figura 2.1).

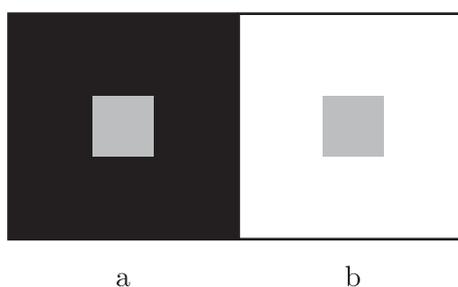


Figura 2.1 Ejemplo clásico de contraste directo, adaptado de Brücke (1865).

El mayor contraste cromático aparece cuando dos colores complementarios están adyacentes. Si observamos una superficie roja sobre un fondo blanco, sus contornos aparecerán de color verde. Del mismo modo, una superficie amarilla sobre fondo

blanco mostrará sus contornos de color violeta. Sin embargo, si colocamos cada una de las superficies sobre un fondo de otro color, cada una modificará su color en la dirección del complementario de la superficie adyacente.

Estos estudios sobre el contraste simultáneo los experimentó Chevreul (Chevreul, 1839) con diferentes formatos y colores. En uno de sus análisis, como vemos en la figura 2.2, trata de averiguar la mejor combinación para las decoraciones de la época tanto en textil como en papel. Se puede decir que Chevreul es el iniciador del descubrimiento del efecto de asimilación cromática, que más tarde Bezold (1876) trabajará y tomará su nombre.



Figura 2.2 Rosas y hojas sobre fondos negro y coloreados. Diseño común en los tiempos de Chevreul. Comparativa que describe la mejor y peor combinación. Adaptado de Chevreul (1839).

El efecto que actualmente conocemos como efecto Bezold o efecto de asimilación (conocido así por la comunidad científica) también lo podemos encontrar como efecto de expansión, nombre que el propio Bezold se encargó de otorgarle. Otros autores hacen referencia a este efecto con: contraste inverso o contraste anómalo.

Este efecto es la suma cromática, contraponiéndose al efecto tradicional, contraste directo (figura 2.1). En la figura 2.3 (Bezold et al., 1876) vemos cómo empleando las mismas tintas con un mínimo cambio en el borde el color aparente es diferente. Añadiendo un borde blanco se aclara y añadiendo el borde negro se oscurece (no aparece el complementario).

Bezold intenta justificar este cambio de la apariencia del color por la fusión de dos fenómenos, por un lado la asimilación cromática (mezcla de colores) y por otro lado el contraste directo (aparición del color complementario).

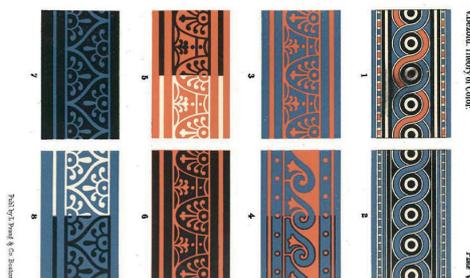


Figura 2.3 El tono, saturación y brillo del azul y rojo en cada lado de las cenefas, es el mismo, sin embargo el efecto de asimilación hace que los percibamos diferentes. Adaptado de Bezold (1876).

Lo que hasta ese momento se conoce sobre sensación y percepción a través de la psicología experimental lo recoge Boring. Nombra a Chevreul y a Bezold como el principio de la mezcla de colores sin dar una explicación clara del fenómeno visual (Boring, 1942).

Otros autores como Newhall, Rood, Evans y Burnham dan pequeñas pinceladas al curioso efecto, aportan poca información y vienen a confirmar lo que hasta la fecha es conocido.

Albers nombra al efecto Bezold como *mezcla óptica*, explicando la diferencia que existe entre el contraste directo y esta ilusión, figura 2.4. Albers indica que este efecto depende del tamaño y la distancia, como en los artistas impresionistas y puntillistas (Albers, 1963).

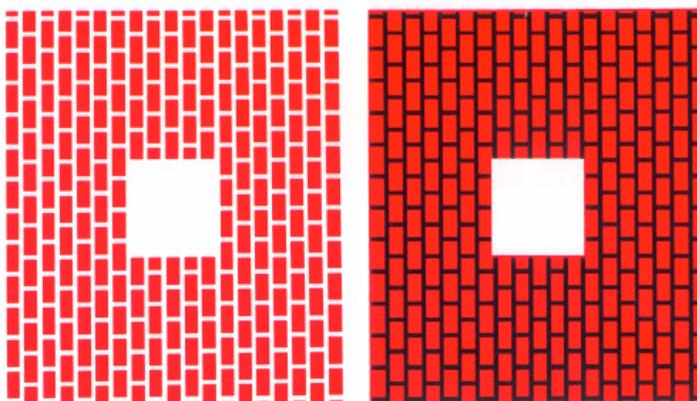


Figura 2.4 Lámina de uno de los estudiantes de color de Josef Albers, donde muestra el cambio perceptivo al rodear los ladrillos rojos con una línea blanca (izquierda) o negra (derecha). Adaptado de Albers (1963).

Coincidiendo en el año de Albers, Gindy en su tesis estudió lo que más adelante se conocería como la ilusión de White, el fenómeno que hemos descrito como el efecto Bezold. Muchas explicaciones de este fenómeno se han propuesto, sin embargo ninguna es lo suficientemente consistente y aceptada. Presumiblemente existe una interacción entre la forma y el tono que da a esta ilusión. El fenómeno que describe Gindy fue pasado por alto para los investigadores, más adelante White dará cuenta de ello (Gindy, 1963).

Helson afirma que el efecto de expansión o asimilación, donde las líneas blancas aclaran y las líneas negras oscurecen áreas contiguas, depende de la anchura de las líneas, el área de intervención y sus reflectancias respectivas. Por otra parte, hay una continuación en la percepción del contraste, que va desde la asimilación (sumación) hasta el contraste directo pasando por un intervalo en el que ni asimilación ni contraste directo se produce (Helson, 1963).

Al año siguiente Helson profundiza en sus estudios sobre la asimilación y el contraste directo con diferentes experiencias variando: el espacio y la anchura de las líneas y la reflectancia de las áreas grises. Atribuye la asimilación a una excitación de la retina, causante de la mezcla (sumación) (Helson, 1964).

Parola define la asimilación (figura 2.5) como la tendencia a minimizar el estímulo y crear uniformidad. Es un proceso de simplificación (Parola, 1969).

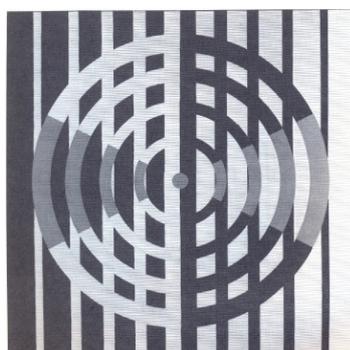


Figura 2.5 Las cuñas grises parecen diferentes. Lámina realizada por Susan Hirth. Adaptado de Parola (1969).

Wright destaca el descubrimiento del efecto y su importancia en el diseño y percepción de colores. Wright intuye que la aberración cromática del ojo, el contraste direc-

to, los movimientos oculares y la adaptación local contribuyen al efecto. Como ya dijo Evans este efecto no esta teniendo la importancia que se merece ya que es de interés para la comprensión de la percepción del color (Wright, 1969).

1970 - 1979

Nuestra percepción del color es relativa. Lo que vemos como blanco más tarde comparándolo con un blanco más puro dejamos de considerarlo blanco. Clulow sugiere (apoyándose en el contraste directo) que dos colores juntos tienden a parecer lo más diferentes posible, afirmando que la ley del contraste directo no es infalible y lo podemos ver en la figura 2.6, con la distancia las secuencias rectangulares las percibimos diferentes aun siendo iguales. El autor cree que este efecto es debido a la difusión y dispersión de las diferentes luces en la retina (Clulow, 1972).

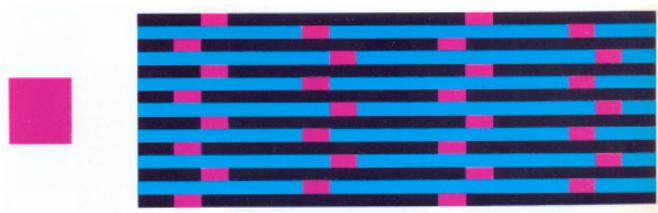


Figura 2.6 Cambio perceptivo de los rectángulos magentas al intercalar una red negra-azul a causa del efecto Bezold. Adaptado de Clulow (1972).

Un nuevo nombre surge al efecto: efecto expansión. Este título se lo da Evans en 1974. El efecto tiene como característica que es una mezcla aditiva y puede ser fácilmente confirmado añadiendo una línea con un bolígrafo negro o azul alrededor de una figura roja (Evans, 1974)

White descubre un efecto al que hoy en día se sigue buscando una explicación. El efecto se produce en una red acromática de razón de modulación 0,5. Sustituyendo en una zona de la red las franjas negras por franjas de gris medio y en otra zona de la red las franjas blancas por las mismas franjas de gris medio. Las franjas grises que están ocultando parte negra, se perciben más claras, mientras que las que ocultan parte blanca se perciben más oscuras (figura 2.7). White observó que el efecto aumentaba con la frecuencia (distancia observador-test) (White, 1979).

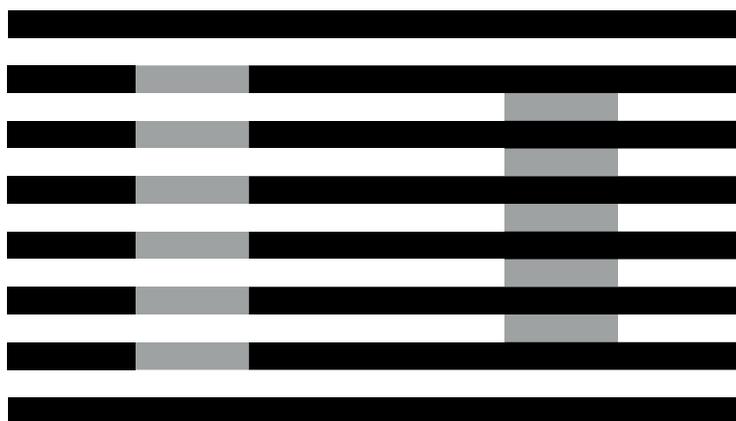


Figura 2.7 Test utilizado por White donde vemos la diferencia percibida de las dos franjas grises (iguales). Adaptado de White (1979).

1980 - 1989

Hurvich trata de dar una explicación al efecto Bezold (asimilación), afirmando que los colores que percibimos en este efecto no son el resultado de una mezcla como en las pinturas puntillistas, inclinándose por una explicación de base fisiológica: el efecto está en la no uniformidad espacial de la retina y su organización celular (Hurvich, 1981).

White siguiendo el camino que inició en 1979 con el efecto que lleva su nombre, explica los resultados obtenidos bajo tres aspectos: el contraste de luminosidad, la asimilación de la luminosidad resultante producida por la limitación de la capacidad del sistema visual para hacer frente a la red de contraste en altas frecuencias y por último la asimilación de la luminosidad como resultado de la inhibición lateral (White, 1981).

Leeuwenberg demuestra que los efectos de asimilación y contraste son producidos por los aspectos estructurales de los patrones. En un experimento piloto, utilizó distintos patrones grises como estímulo. Los fondos utilizados con cada una de estas formas eran idénticos (figura 2.8). Leeuwenberg considera asimilación cuando la parte gris del patrón que está situada sobre fondo negro se percibe más oscura que la parte gris situada en la zona blanca, cuando ocurre lo contrario, lo nombra efecto de contraste (Leeuwenberg, 1982). Girgus & Coren también estudian la asimilación y

el contraste, analizando tres ilusiones con las que tratan las diferencias de plasticidad entre el contraste y la asimilación (Girgus and Coren, 1982).

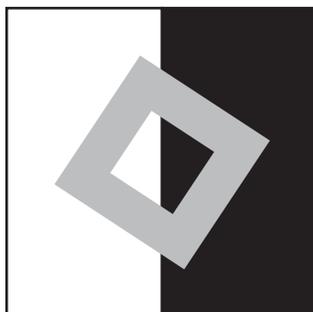


Figura 2.8 Ejemplo de uno de los tests usados por Leeuwenberg. Adaptado de Leeuwenberg (1982).

White propone cambiar las redes acromáticas con las que ya se ha probado la fuerza de la luminosidad aparente de las franjas grises, por una superficie con un patrón de puntos negros con fondo blanco o puntos blancos sobre fondo negro. En este caso sitúa un cuadrado gris medio, debajo de los puntos blancos ocultando el fondo negro (figura 2.9). El efecto que producen los puntos sobre la zona gris es similar al de las barras (White, 1982a). En este mismo año (1982) White escribirá su tesis doctoral: el efecto del patrón en la luminosidad percibida, recopilando todo el trabajo sobre percepción de la luminosidad (White, 1982b).

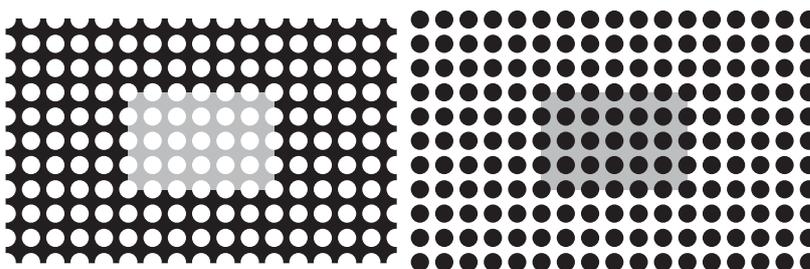


Figura 2.9 Estímulos presentados por White en una superficie de puntos. Adaptado de White (1982).

White & White siguen trabajando en la ilusión de White descubriendo una relación lineal entre la luminosidad de las barras grises, y su situación desde que están sobre la franjas blancas (0°) hasta que están sobre las franjas negras (180°). Esta aproximación lineal se mantiene si el test (zonas grises) es rectangular o cuadrado (White and White, 1985).

Jameson & Hurvich dan una explicación que hemos tomado como válida (junto a la propuesta en 1981) y al final la exponemos (Jameson and Hurvich, 1989).

Tomando como referente la ilusión de White, Moulden & Kingdom han investigado las propiedades del efecto con el fin de descubrir los mecanismos subyacentes. Ellos presentan cuatro experimentos revelando que las alturas y anchuras de las franjas de la red, inducen al brillo de las franjas de color gris. Los resultados muestran que dos procesos, uno el efecto local de las esquinas y otro, un proceso de extensión espacial, intervienen para producir el efecto (Moulden and Kingdom, 1989).

1990 - 1999

Nakayama et al. examinan la influencia del contraste de luminancia en los contornos subjetivos (ilusorios) y el efecto expansión (efecto Bezold) (Nakayama et al., 1990). En este mismo año, Watanabe & Takeichi, estudian la relación entre la expansión del color neón y los contornosilusorios. Los autores han encontrado que la expansión de color fue observada cubriendo el área rodeada por los contornosilusorios. Sobre la base de estos resultados, sugieren que existe una interacción entre los contornosilusorios y la expansión de color local (Watanabe and Takeichi, 1990).

Kingdom & Moulden presentan los datos de dos experimentos que miden el grado de diferencia de brillo en los estímulos, consistentes en solo tres franjas que inducen y un estímulo de ensayo gris único, en función de diversas manipulaciones espaciales de las franjas de inducción y del test (haciendo referencia a la ilusión de White). Los resultados no apoyan la idea de que la asimilación sea un componente importante del efecto. Los datos se muestran coherentemente con su modelo de inducción de brillo en el que tanto un contraste local como un contraste de expansión espacial influyen para producir el efecto de White (Kingdom and Moulden, 1991).

Un año más tarde Kingdom & Moulden presentan un modelo de codificación del brillo que predice la aparición de una serie de fenómenos clásicos. El modelo es conocido como MIDAAS (siglas en inglés) que significa «múltiples descripciones independientes promediadas a través de la escala». La característica única y definitiva del modelo es la suposición de que cada escala de filtrado espacial opera como si

fuera a generar su propia descripción del patrón de las relaciones de brillo en la imagen. La percepción final es proporcionada por la combinación de las descripciones de brillo individual (Kingdom and Moulden, 1992).

La asimilación, según Gilchrist, es un fenómeno opuesto al contraste directo. El término asimilación lo introdujo Helson para referirse a lo que anteriormente se llamaba efecto expansión de von Bezold. Mucha gente al percibir el conjunto ve un efecto de asimilación fuerte, pero si fijamos la atención en partes pequeñas del objeto, la asimilación cambia a contraste directo. La asimilación es particularmente fuerte cuando la parte que induce al efecto es una red de líneas delgadas como ya afirmó Helson (Gilchrist, 1994).

Un patrón formado por cuatro arcos sobre un fondo gris se ve más oscuro cuando los arcos son de color negro, y claro cuando los arcos son de color blanco. Sin embargo, De Weert & Spillmann muestran que esta diferencia es relativa. Para los autores la asimilación se encuentra en el dominio del color, y existe solo cuando la luminancia de los inductores de color es inferior a la del fondo (De Weert and Spillmann, 1995).

Se ha propuesto que el efecto de White es un ejemplo de fenómeno de inducción de luminosidad. Spehar et al. han demostrado que para que esta ilusión se produzca es necesario que la luminancia de los elementos de destino, rectángulos grises de la figura 2.10, se sitúen entre las de las franjas de inducción de la red de onda cuadrada. Este papel fundamental de las relaciones de luminancia no es predicho por los modelos existentes de estas ilusiones [Spehar, 1995].



Figura 2.10 Demostración de la anulación de la ilusión de White por Spehar. Adaptado de Spehar (1995).

Taya et al. defienden que en la ilusión Munker-White el efecto es mayor si los patrones se presentan estereoscópicamente de manera que las franjas grises aparecen detrás de la red, o delante de la red. Estos resultados se explican en términos de percepción del objeto: El contraste mejora las diferencias entre un objeto y sus alrededores, mientras que la asimilación reduce las diferencias dentro de un objeto (Taya et al., 1995).

Anderson propone una teoría que afirma que las relaciones geométricas y de luminancia de las uniones del contorno inducen a una transparencia ilusoria y percepción de luminosidad al causar una escisión excepcional de una luminancia homogénea en contribuciones múltiples. Argumenta que la teoría presentada puede proporcionar una explicación unificada de una variedad de ilusiones monoculares y binoculares que inducen transformaciones uniformes de la luminosidad percibida, incluyendo la expansión del color neón, la ilusión de White-Munker, la ilusión de Benary, etc. (Anderson, 1997).

Bressan et al. tratan un fenómeno con un profundo significado para la comprensión de la percepción visual. La luz de color neón que se escapa de los límites de una figura real y llena los alrededores hasta que se detiene por los límites de una figura ilusoria (figura 2.11). Tiene importantes consecuencias sobre la forma en que nuestro sistema visual utiliza estímulos aparentemente incompletos para generar percepciones significativas, separar los objetos de sus fondos, darles color y profundidad (Bressan et al., 1997).

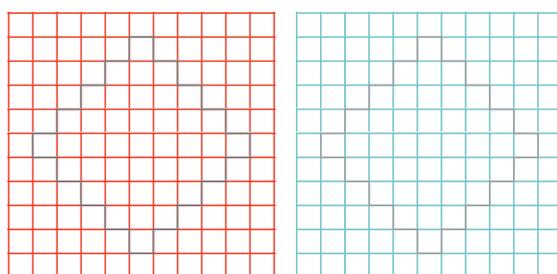


Figura 2.11 Efecto expansión en figuras ilusorias. Adaptado de Bressan (1997).

Ross & Pessoa presentan un nuevo modelo 3-D de red neuronal para la percepción de la claridad. La consideración de una gran cantidad de datos sugiere que el sistema visual realiza la transformación de luminancia a claridad de una manera muy

sensible al contexto. En particular, proponen que un componente clave de esta transformación es la integración selectiva de las relaciones de luminancia codificadas en la retina. Los autores han simulado los estímulos de la ilusión de White y la cruz de Benary, entre otros (Ross and Pessoa, 1997).

Todorovic argumenta un enfoque hacia la explicación de los efectos de White y Wertheimer-Benary basado en el análisis de las esquinas (como uniones en T y uniones en X) entre las regiones de distinta luminancia (figura 2.12) [Todorovic, 1997].

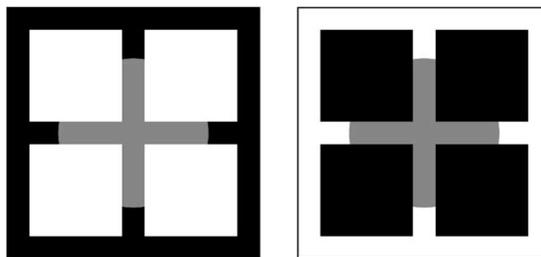


Figura 2.12 Ejemplos de las uniones en T. Adaptado de Todorovic (1997).

Van Lier & Wagemans tienen como objetivo proporcionar y poner a prueba un paradigma experimental sobre la base de la fuerza relativa de la regularidad (frecuencia) y la proximidad (factores de agrupación). El paradigma propuesto se basa en los principios de la Gestalt, observando que los colores de los elementos locales dentro de un todo perceptivo tienden a parecerse más entre sí de lo que realmente son (van Lier and Wagemans, 1997).

Zaidi et al. afirman que la presencia de las uniones en T inhiben el contraste inducido de forma independiente a la percepción tridimensional. La percepción de pertenencia (principio de la Gestalt) aumenta el contraste inducido (Zaidi et al., 1997).

Los resultados de Economou et al. (en la línea de Zaidi et al. y Van Lier & Wagemans) muestran que al optimizar los factores de agrupación de un estímulo gris totalmente rodeado por negro puede parecer más oscuro que el mismo estímulo gris rodeado por blanco. Esto confirma que el contraste de luminosidad simultánea es realmente una manifestación del anclaje en los grupos de percepción (Economou et al., 1998).

Blakeslee & McCourt proporcionan un modelo sencillo pero potente para explicar una serie de características aparentemente complejas de la red de inducción en la ilusión de White. Los autores concluyen que los factores de percepción de mayor nivel de agrupación pueden jugar un papel en la determinación del brillo. Los resultados presentados por el modelo sostienen firmemente que el fenómeno inducido por el brillo, el efecto de White, refleja principalmente operaciones de filtrado en las primeras capas corticales del sistema visual (Blakeslee and McCourt, 1999).

Gilchrist et al. realizan una revisión en el campo de la percepción de la claridad desde Helmotz hasta la fecha, mostrando las diversas teorías de percepción de la claridad. Sin embargo, estos modelos no tienen en cuenta dos aspectos importantes: no contienen ninguna norma de anclaje, y no consideran el patrón de errores en la luminosidad de la superficie. Los trabajos recientes tanto en el problema de anclaje como en el problema de los errores han producido un nuevo modelo de percepción de la claridad, que es cualitativamente diferente a los modelos anteriores. El nuevo modelo se basa en una combinación de valores de la luminosidad local y global (Gilchrist et al., 1999).

McArthur & Moulden han aplicado un modelo 2-D en la percepción del brillo para una amplia gama de fenómenos. Las conclusiones de los autores son debidas a la naturaleza de la retina (como previamente indicaron Jameson & Hurvich en 1981 y 1989). Los resultados parecen apoyar que la mayor parte de la causa para la percepción de brillo se realiza a nivel de la retina (McArthur and Moulden, 1999).

2000 - 2013

Agostini & Galmonte afirman que los principios de organización perceptiva afectan a la percepción del color. Paradójicamente, el principio de pertenencia se ha utilizado para explicar el contraste, así como la asimilación. Tratan de resolver esta paradoja con el argumento de que la asimilación ocurre antes de la formación de los grupos de percepción, mientras que el contraste se produce después de la formación de los grupos de percepción (Agostini and Galmonte, 2000).

Ross & Pessoa exponen para la conocida ilusión de White un nuevo enfoque de cómo las medidas locales de contraste de luminancia se integran de forma selectiva para estimular percepciones de aclaramiento en una amplia gama de configuraciones. Basándose en la continuidad de los modelos de integración de borde y contraste. El modelo de integración selectiva permite la simulación de una serie de fenómenos, incluido el efecto de White y la Cruz de Benary (Ross and Pessoa, 2000).

Anderson hace una recopilación teórica de las dos vertientes, la fisiológica y la psicológica. Incliniéndose por una explicación apoyada en la teoría gestaltiana para la ilusión de White (Anderson, 2001).

Apoyando también la corriente gestaltiana, Bressan asegura que en algunas figuras complejas la ilusión del contraste directo es extraña y puede demostrarse que depende de la organización perceptiva de las regiones dentro de la imagen. Las explicaciones más aceptadas se basan en el análisis de las uniones formadas en los límites de las regiones próximas. Bressan presenta varias familias de figuras nuevas, concluyendo que las uniones no desempeñan un papel crucial en la percepción de la luminosidad (claridad), en contra de lo afirmado por Todorovic (Bressan, 2001).

Bressan & Actis-Grosso prueban en este trabajo la existencia de contraste luminoso simultáneo en los tests en que los parches son más luminosos que su alrededor. Estos efectos no son predichos por las teorías de la luminosidad que asumen que la luminancia más alta de una escena se percibe como blanco, y el resto de luminancias están ancladas a esta. Demuestran que la fuerza de las ilusiones de doble incremento depende crucialmente de dos luminancias: la que rodea y la de los parches objeto. Tales requisitos de luminancia no se cumplían en estudios anteriores, lo que explica la razón por la que el contraste simultáneo (contraste directo) con parches de doble incremento ha sido considerado muy débil o inexistente hasta ahora (Bressan and Actis-Grosso, 2001).

Ripamonti & Gerbino analizan el efecto clásico de White, donde las franjas grises (luminancia intermedia) aparecen más claras cuando interrumpen las franjas oscuras de la red y más oscuras cuando interrumpen las franjas blancas (figura 2.13). El efecto se invierte cuando las barras grises son de doble incremento o decremento de

luminancia, en relación a la luminancia de la red. Ambos tipos de efectos se explican por un modelo común, basado en la asimilación de la región superior e inferior y el contraste directo lateral con la franja interrumpida (Ripamonti and Gerbino, 2001).

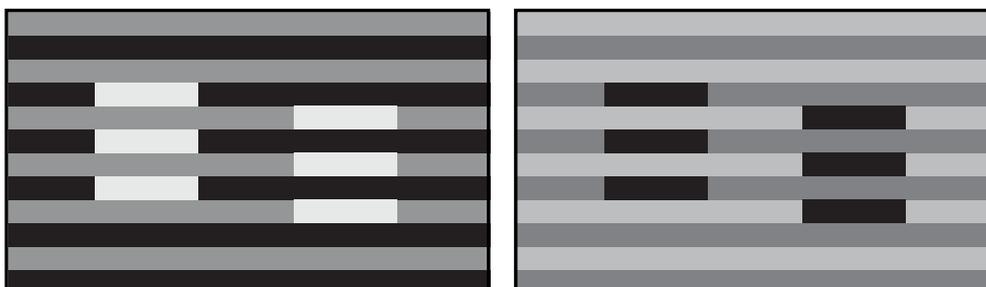


Figura 2.13 Inversión de la ilusión de White. Adaptado de Ripamonti et al. (2001).

Gilchrist & Annan realizan un análisis histórico con sus implicaciones teóricas. Tomando como base la teoría de Katz (1935) quien creó los métodos de investigación para el estudio de la luminosidad constante y apoyándose también en Kardos (1934) según el cual la luminosidad de una superficie se determina en relación a más de un campo. Gilchrist et al. (1999) argumentan que el concepto de campos debe ser sustituido por el concepto de marcos, más operativo; de este modo una gran variedad de errores de luminosidad se pueden explicar por una modificación del principio de Katz: cuanto mayor es la articulación dentro un marco de percepción, más fuerte es el anclaje de los valores de luminosidad dentro de ese marco (Gilchrist and Annan, 2002).

Goldstein estudia dos ilusiones: la cruz de Benary y la ilusión de White. Empieza explicando el contraste simultáneo (directo) producido en la retina por la inhibición lateral y siguiendo esta teoría concluye que en la ilusión de White debe haber algún otro mecanismo fisiológico que interviene en la percepción de esta ilusión ya que se produce el efecto contrario. Destaca la teoría de Gilchrist et al. (1999) en la que afirma que nuestra percepción de la claridad funciona según el principio de pertenencia (psicología de la Gestalt). El mecanismo fisiológico parece que está situado en el córtex, si bien en este momento no se conoce con certeza (Goldstein, 2002).

La luminosidad aparente de una superficie puede estar fuertemente modulada por el contexto espacial en que está inmersa. Una de las ilusiones de luminosidad más

simple y más difícil de justificar teóricamente fue descrita por White. Esta ilusión se ha explicado con una variedad de modelos diferentes, que van desde el bajo nivel de filtro de salida a los cálculos en que se basa la extracción de las representaciones de nivel medio de superficies. Anderson presenta un nuevo método para la determinación de las fuerzas de organización que forman a esta ilusión. Siguiendo la corriente gestaltiana demuestra que el contexto espacial (la red) del patrón de White no solo transforma la aparente luminosidad de las franjas blancas, sino que también puede inducir inversiones de las relaciones figura-fondo. Estos fenómenos proporcionan nuevas pruebas para la ilusión de White (Anderson, 2003).

Otro efecto de expansión, el efecto acuarela, se percibe al contornear un color oscuro (morado por ejemplo), por uno más claro (por ejemplo naranja) como vemos en la figura 2.14. En estas condiciones trabajó Pinna et al., donde el color más claro es asimilado. Esta asimilación determina la figura al intervenir los factores clásicos de la Gestalt: de proximidad, buena continuación, cierre, simetría, convexidad. Cuando se combina con un determinado factor de la Gestalt, el efecto resultante sobre la organización figura-fondo es más fuerte que para cada factor por sí solo. Cuando el efecto acuarela es inducido por un borde de color rojo oscuro en lugar de un borde de color naranja, su fuerza figurativa se reduce (como ocurre en esta tesis con el efecto Bezold). Los resultados muestran que el efecto acuarela inducido por el borde podría ser un factor independiente, diferente de los clásicos principios de la Gestalt en la organización figura-fondo (Pinna et al., 2003).

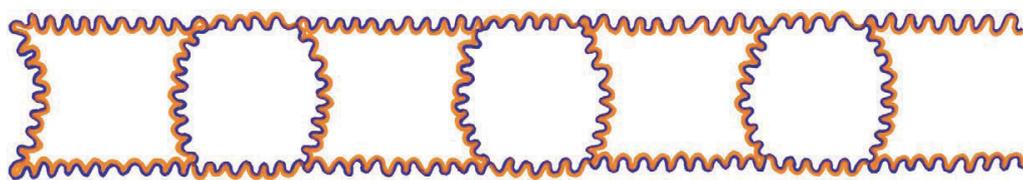


Figura 2.14 Estímulo usado para probar el efecto acuarela con el factor de convexidad de la Gestalt en la organización perceptual figura-fondo. Adaptado de Pinna et al. (2003).

El efecto producido por el contraste directo sobre un cuadrado gris se puede invertir rodeándolo con franjas que alternan negro y blanco hacia el exterior (figura 2.15). Bindman & Chubb proponen que el efecto de la asimilación es el resultado de un

mecanismo de inhibición de contraste similar al propuesto por Chubb et al. en el año 1989 (Bindman and Chubb, 2004).

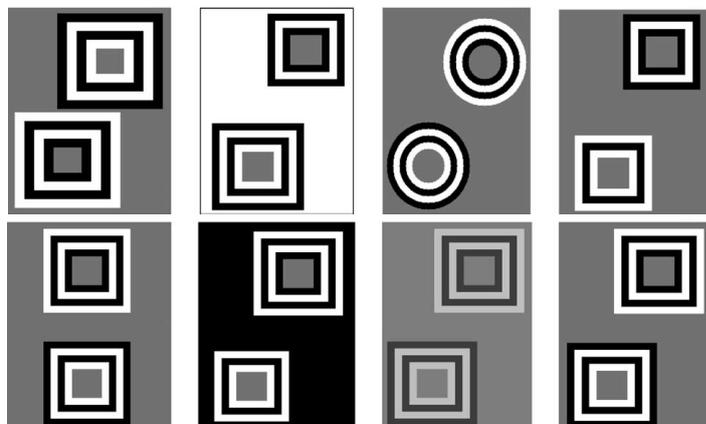


Figura 2.15 Inversión del efecto del contraste directo. Adaptado de Bindman & Chubb (2004).

Blakeslee & McCourt afirman que el brillo (luminosidad) influye tanto en el contraste como en la asimilación. Los enfoques basados en la percepción de la organización, son desafiados por un conjunto importante de nuevas medidas psicofísicas que determinan la magnitud del efecto de White. De acuerdo con el modelo, los resultados muestran que la selectividad de la orientación de los filtros y la normalización del contraste a través de los canales de la orientación son fundamentales para explicar algunos efectos de brillo, como el efecto de White (Bindman and Chubb, 2004).

Monnier & Shevell afirman que la inducción cromática de patrones depende de la distribución espacial, así como de los aspectos cromáticos de la luz de fondo. La apariencia de color con patrones y fondos uniformes la comparan con cromaticidades que solo se distinguen por los conos S. Las mediciones muestran grandes cambios en la apariencia del color entre el fondo cromático y el fondo uniforme en cualquier cromaticidad dentro del patrón. Monnier & Shevell explican los cambios en la apariencia del color por un campo neuronal receptivo con antagonismo espacial de los conos S (Monnier and Shevell, 2004).

Cao & Shevell evaluaron la asimilación cromática de un patrón de anillos concéntricos, en función de la anchura de los anillos de inducción, la separación, cromaticidad y luminancia. Cuanto más delgados son los anillos y menos es su separación más

fuerte es la asimilación. Tratan de explicar la asimilación a través del promedio espacial de las señales neuronales (Cao and Shevell, 2005).

Güçlü & Farrell estudian la falta de constancia de claridad (luminosidad) en función de la luminancia y tamaño, variantes del efecto descrito por Todorovic (figura 2.16). El efecto de Todorovic es similar al efecto de White, donde el contraste simultáneo de luminosidad parece ocurrir de forma selectiva entre los estímulos pertenecientes al mismo grupo de percepción, y no entre estímulos iguales y próximos pertenecientes a diferentes grupos de percepción (psicología de la Gestalt). Güçlü & Farrell hallan una constante diferencia en la percepción de luminosidad de los estímulos presentados. El tamaño no tuvo ningún efecto sobre la percepción de la luminosidad. Estos datos implican que el efecto Todorovic-White puede ser caracterizado como la asimilación de luminosidad y no como contraste [Güçlü, 2005].

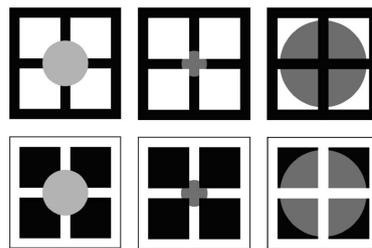


Figura 2.16 Variantes de Todorovic. Adaptado de Güçlü et al. (2005).

Howe trabaja sobre el efecto de White (también conocido como el efecto Muncker-White) que es una ilusión de luminosidad contraria a las expectativas basadas en el contraste directo (un rectángulo gris rodeado de blanco parece más claro que el mismo rectángulo rodeado de negro). La ilusión se explica a menudo por medio de las uniones en T, que se forman en las esquinas del rectángulo. Howe presenta una variante circular del efecto de White en la que todas las uniones se han eliminado sin afectar significativamente la fuerza de la ilusión, lo que sugiere que las uniones no son una consideración importante en todas las versiones del efecto de White; también lo indicó Bressan (2001) (Howe, 2005).

Bressan plantea la siguiente cuestión: ¿La luminosidad de una región se explica exclusivamente por la luminancia media de su alrededor? Esta pregunta tiene una respuesta compleja, que depende de si la región es mayor, menor o con valor interme-

dio en relación con la luminancia de las superficies contiguas. Bressan demuestra en este trabajo que un nuevo modelo de luminosidad, basado en los principios del anclaje, predice y aclara tales complejidades. En este modelo, la luminancia de la región de destino determina su luminosidad de dos maneras: indirectamente, formando un grupo con las regiones envolventes, y directamente mediante el anclaje a la luminancia más alta y a la luminancia media que rodea en cada uno de estos marcos (Bressan and Actis-Grosso, 2006).

La teoría del doble anclaje que Bressan propone, parte del desarrollo de la teoría del anclaje de Gilchrist et al. (1999), que supone que cualquier región pertenece a los marcos de una o más regiones, creada por el principio de agrupación de la Gestalt, y está anclada de forma independiente dentro de cada marco a ambos: la luminancia más alta y la luminancia que le rodea. La luminosidad final de la región es una media ponderada de los valores calculados, en relación con los anclajes, en todos los marcos. El nuevo modelo no solo da cuenta de todas las ilusiones de luminosidad que son explicadas por la teoría de anclaje, sino también para una serie de efectos adicionales, y lo hace de forma cuantitativa, con el apoyo de simulaciones matemáticas (Bressan, 2006b).

Bressan & Actis-Grosso afirman que el contraste de luminosidad simultánea (contraste directo) es más fuerte cuando el fondo es oscuro o claro (donde uno de los objetivos es un incremento y el otro es un decremento). El fondo ha sido substituido por campos articulados (múltiples cuadrados con equivalente luminancia media), destacando que la alta luminancia y la articulación contribuyen por separado a la ilusión final (Bressan, 2006a).

Gilchrist cita a diferentes autores con distintas explicaciones sobre el efecto Bezold resaltando que no hay una clara unanimidad sobre el efecto expansión (asimilación) comparado con el contraste directo donde la explicación de la inhibición lateral en la retina es acogida por la mayoría de estudiosos (Gilchrist, 2006).

En el libro de Regan & Jenkin, Stuart Anstis (Regan et al., 2006) analiza en un capítulo la ilusión de White considerando estos tres parámetros: la luminosidad, el color y el movimiento. Concluyendo que los dos efectos, asimilación y contraste directo jue-

gan un papel importante en la percepción de la versión coloreada de la ilusión de White, coincidiendo con los resultados experimentales de Clifford & Spehar (Clifford et al., 2003).

Howe et al. presentan cuatro aspectos: Los marcos no son lo mismo que los grupos perceptivos, la fuerza de los principios de agrupación depende del contexto donde operen, puntos en la misma región no siempre tienen la misma luminosidad y la región con la luminosidad más alta no siempre se percibe como blanco. Bajo estas afirmaciones argumentan serias dificultades teóricas y empíricas para la teoría propuesta por Bressan (2006), original de Gilchrist et al. (1999) (Devinck et al., 2006).

En esta crítica, Bressan quiere demostrar que la luminosidad del objeto en la ilusión de la prisión y en el efecto de White no está toda determinada por la región con la que se percibe el objeto a agrupar. Bressan sostiene que Howe et al. malinterpretan la agrupación de luminosidad al igualarla con la agrupación para la formación del objeto, haciendo caso omiso de que esa luminosidad se determina por el peso de los marcos y no por lo que se percibe en el grupo en el que está (Bressan, 2007).

La ilusión más antigua de luminosidad afirman Economou et al., es el contraste simultáneo o contraste directo (un cuadrado gris situado sobre un fondo negro parece más claro que el mismo cuadrado gris sobre un fondo blanco). Desde hace más de cien años, esta ilusión ha sido generalmente atribuida a la inhibición lateral o filtrado espacial. Las células receptoras estimuladas por el cuadrado gris en el fondo blanco están fuertemente inhibidas por las células cercanas estimuladas por el fondo blanco brillante. Recientemente, una nueva explicación para esta ilusión fue propuesta como parte de una teoría general de la luminosidad llamada teoría de anclaje. La luminosidad de cada cuadrado de destino se calcula en relación con la luminancia más alta en su marco local (que consta de solo el blanco y el fondo circundante) y en relación con la mayor luminosidad en toda la pantalla. Para cada objeto, la luminosidad percibida depende de una media ponderada de estos dos cálculos. Economou et al. realizan seis experimentos en los que estas dos teorías de contraste simultáneo (filtrado espacial y anclaje) se enfrentan entre sí. En cada caso, los resultados están a

favor del modelo de anclaje, por la facilidad de obtener predicciones altamente específicas con este modelo (Economou et al., 2007).

Goto et al. se han centrado en cómo la asimilación y el contraste se correlacionan con los procesos de generación de varias ilusiones ópticas, incorporando la asimilación y el contraste en su propuesta de que la combinación de tres factores (ángulo - dirección, espacio - posición, y la asimilación - contraste) explica la generación de muchas ilusiones ópticas (Goto et al., 2007).

Robinson et al. introducen dos nuevos modelos en la percepción de brillo que dan cuenta de una amplia gama de ilusiones, incluyendo muchas variaciones del efecto de White. Sus modelos amplían el ya planteado por Blakeslee & McCourt (1999) (Robinson et al., 2007).

Al invertir el efecto de asimilación, oscureciendo o aclarando el objeto más que las regiones que inducen al efecto (figura 2.17), la dirección del efecto se invierte, Barkan et al. lo calificaron de «efecto invertido de la asimilación». Proponen un modelo, que se basa en la inducción de contraste-contraste. El modelo predice los diversos tipos de efectos de asimilación de brillo y de su inversión (Barkan et al., 2008).

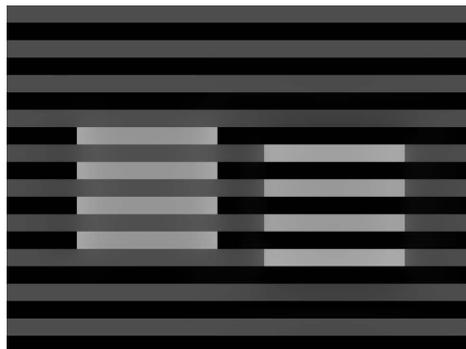


Figura 2.17 Inversión del efecto asimilación. Adaptado de Barkan et al. (2008).

Bressan & Kramer confirman la existencia de la ilusión de la prisión y demuestran que se invierte cuando la luminancia de los estímulos es inferior (disminución doble) o superior (incremento doble) a la luminancia tanto del fondo como de los discos. Sus resultados apoyan la teoría del doble anclaje y demuestran que luminancias que

están lejos de los estímulos no son influyentes en algunas condiciones, pero crítica en otras (Bressan and Kramer, 2008).

La luminosidad de una superficie se piensa que depende de la luminancia relativa procedentes de las superficies vecinas. Sin embargo, Gilchrist & Radonjic afirman que una luminancia relativa solo puede producir valores de luminosidad relativa. Los valores específicos de luminosidad pueden darse solo con una regla de anclaje que especifica cómo los valores relativos de luminancia de la imagen retiniana se asignan en la escala de luminosidad. La región de luminancia más alta siempre es vista como blanco. La luminosidad del sector más oscuro dependía de la superficie relativa, que aparece más claro conforme aumenta la superficie (Gilchrist and Radonjic, 2009).

Kitaoka clasifica las ilusiones de color que se conocen hasta ahora. Entre ellas se incluyen la constancia del color, la ilusión del color en la asimilación y el contraste, la inducción de movimiento por el color, etc [Kitaoka, 2009].

Salmela & Laurinen enmascaran las ilusiones de White y Benary con el ruido visual de bandas estrechas y miden los umbrales de detección y brillo. La fuerza de las ilusiones disminuyó (White y Benary) o aumentó (White) dependiendo de la orientación de la máscara. Los resultados sugieren que el brillo en las escenas de figura-fondo se determina por los mecanismos de integración de las fronteras en las capas corticales visuales (Salmela and Laurinen, 2009).

Gilchrist & Radonjic utilizaron una nueva técnica de discos para probar la existencia de marcos funcionales de referencia para la percepción de la claridad en imágenes complejas. Trece discos grises idénticos fueron pegados por vía electrónica en la fotografía Trastevere, que muestra dos grandes regiones de luz solar y sombra. Los observadores acertaron la luminosidad de cada disco con una escala de Munsell. Los datos revelaron el efecto del marco, según lo predicho por la teoría del anclaje (Gilchrist and Radonjic, 2010).

La ilusión que ahora se conoce comúnmente como «ilusión de White» implica cambios en la luminosidad de los elementos de estímulo (de gris medio) que sustituyen

las secciones de las barras de color negro o blanco de una red negra-blanca. White describe la ilusión y su evolución (White, 2010).

Conclusión

Con todo lo expuesto queda claro la importancia que tiene la expansión cromática (eB) en la visión del color, sin embargo desgraciadamente, aparte de algunos pocos intentos (con medianos resultados) para intentar cuantificar y justificar su origen (psicología, fisiología, física, mezcla de ellos...) poco se ha logrado, siendo el eB uno de los temas que aún sigue preocupando a los estudiosos de la percepción visual.

Hemos dejado para el final la teoría dada como posible por Jameson & Hurvich al ser la preferida por el director de este TFG (Dr. Ignacio Tortajada), y asumida por lo tanto como buena.

Según Jameson & Hurvich, la base fisiológica del eB es la no uniformidad de la retina y su organización celular que unido a las aberraciones propias del sistema óptico ocular (difracción y aberración esférica) hacen que la imagen retiniana no sea una imagen perfecta sino por el contrario muy imperfecta, acompañada por los tradicionales flecos ópticos (blur circles) propios de las imágenes imperfectas alejados de la imagen central, con un tamaño, forma, número y separación, función de las características del proceso visual (Jameson and Hurvich, 1989).

III Objetivos y técnica experimental

En este capítulo analizamos el dispositivo utilizado para realizar las experiencias. Hemos creado un único dispositivo y con el hemos realizado las medidas de los observadores.

En lo referente al dispositivo posee la necesaria solidez y versatilidad que permite realizar un alto número de medidas así como la fiel reproducibilidad de estas. El dispositivo permanece intacto a lo largo de la experiencia con todos los observadores.

En lo referente a las láminas que los observadores evalúan, están creadas por ordenador e impresas. Las coordenadas tanto de color como de luminancia las hemos cuantificado en el laboratorio.

A lo largo de este capítulo iremos desglosando todo lo que implica la experiencia, con el fin de que sea más fácil su comprensión y reproducibilidad.

Objetivos

Las magnitudes psicofísicas de una muestra cromática varían en función de que la visión sea central o lateral, tamaño, tiempo de observación, luminancia de fondo, adaptación tanto temporal como espacial, atención, dirección de la mirada, etc. En este TFG se pretende analizar la variación en la percepción del aclaramiento de un test cromático (rojo, verde y azul) y acromático (gris, $\beta=0,5$) periódico (secuencia lineal de pequeños cuadrados) con una red de Ronchi de contraste unidad (blanca-negra) en el caso del test periódico de color, o monocromática (blanca-roja, blanca-verde o blanca-azul) para los test acromáticos periódicos. El efecto expansión origina un aumento de la claridad (influencia de las franjas blancas intercaladas).

Sin negar la posibilidad de que el efecto expansión pueda justificarse fisiológicamente, como afirman Hurvich y Jameson, por la existencia de unidades receptoras de distintos tamaños en la zona en que se forma la imagen retiniana, este efecto puede explicarse psicológicamente dentro del marco de la teoría gestaltiana, aplicándola no solo a la interpretación de las formas y detalles de la escena visual, sino también a la

visión de su colorido. En este caso la secuencia espacial de cuadrados blancos (virtuales) y azules, da lugar a la percepción de una línea (principio de continuidad) y a la percepción de un color más claro, expandiendo el blanco a lo largo de dicha línea (Jameson and Hurvich, 1989).

El efecto Bezold (expansión cromática) que se conoce también como asimilación cromática o contraste inverso se da en la visión de una secuencia lineal de pequeños cuadrados (rojos, verdes, azules o grises) de 1 cm de lado, situados en una red de Ronchi (blanca-roja, blanca-verde, blanca-azul o de contraste unidad) con la misma anchura de banda que el lado de los cuadrados.

Hemos definido los siguientes objetivos:

1. Estudiar el efecto Bezold, realizando una búsqueda bibliográfica.
2. Influencia del color. Diferenciamos dos objetivos:
 - a. Influencia del color en la red.
 - b. Influencia del color en la secuencia.

Con la red acromática de contraste unidad (blanca-negra) la secuencia será de color (roja, verde o azul), mientras que para la red monocromática (blanca-roja, blanca-verde o blanca-azul) la secuencia será acromática, gris medio ($\beta=0,5$).

Observadores

En la fase experimental se eligieron siete observadores con diferentes motivaciones (voluntariamente y por créditos de libre elección). Si bien es deseable un mayor número de sujetos dada la naturaleza del trabajo experimental y como más adelante justificaremos (las investigaciones psicofísicas de la visión se efectúan generalmente con uno, dos, tres o cuatro observadores) creímos un número suficiente.

Selección

Nos encontramos con frecuencia en óptica fisiológica con que el número de observadores oscila entre dos y cuatro. Esta afirmación la apoyamos con el trabajo de Lu-

cía Ronchi y Gina Ferrara, que observando un total de mil trabajos anteriores a 1963 verificaron que el mayor número de trabajos realizados se hacían con dos observadores (Ronchi and Ferrara, 1963). Posteriormente en el Departamento de Óptica de Valencia, la profesora Adelina Felipe completó estos resultados con los trabajos publicados hasta ese mismo año en las dos revistas más importantes relacionadas con temas de óptica fisiológica: Journal of the Optical Society of America y Vision Research (Felipe Marcet, 1978)

Vamos a clasificar a los observadores en función de su dispersión. Para ello calculamos la dispersión de cada observador para cada test y para cada distancia ayudándonos del programa de cálculo estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

Para cada observador haremos la media aritmética de sus desviaciones, admitiendo una dispersión máxima de 8%, dando como resultado la tabla 3.1 ordenándolos de menor a mayor dispersión.

Tabla 3.1 Dispersión calculada para cada observador.

| Posición | Observador | S |
|----------|----------------|-------|
| 1 | Raúl. B. | 0,061 |
| 2 | Jorge. G. | 0,068 |
| 3 | Juan Carlos E. | 0,073 |
| 4 | Marta G. | 0,076 |
| 5 | María José R. | 0,079 |
| 6 | Pedro J. | 0,086 |
| 7 | Débora R. | 0,105 |

De los siete observadores nos quedamos con los cinco primeros: Raúl, Jorge, Juan Carlos, Marta y María José.

De los cinco observadores resaltamos que cuatro tienen edades similares menos uno, que a pesar de ser el segundo con menor dispersión lo vamos a descartar ya

que según los datos presentados por Kinnear & Sahraie la edad adecuada para una mejor discriminación del color es entre los dieciocho y los veintiún años (Kinnear and Sahraie, 2002).

Estudios recientes de Bimler et al. sobre la visión y percepción del color en hombres y mujeres, plantean algunas diferencias que podrían influir en los resultados, y que por tanto, obligan a tener en cuenta el sexo del observador a la hora de cuantificar los resultados (Bimler et al., 2004) quedándonos con dos parejas, dos chicos y dos chicas: Raúl, Juan Carlos, Marta y María José.

Diseño de la experiencia

La revisión de la bibliografía, nos llevó claramente a continuar el trabajo iniciado hace más de diez años por el Dr. Mariano Aguilar Rico. Tomando en cuenta posibles mejoras de la experiencia como las que se llevaron a cabo en la tesis del Dr. César Urtubia (Urtubia, 2003), las cuales se despreciaron por la similitud en los resultados y la complejidad excesiva del modo de comparación. Junto con la tesis del Dr. Cesar Urtubia, también tomamos en cuenta trabajos anteriores como el presentado en Rochester, llegando a la misma conclusión (Aguilar and Urtubia, 2001).

Otro aspecto que tuvimos en cuenta, fue el tiempo disponible de los observadores. Sabiendo que tenemos un gran número de tests para evaluar (doce láminas) por cada observador (cada observador evalúa un total de diez veces cada test), y los observadores se comprometían a cuatro meses de observación, esto nos llevó a elegir el sistema utilizado de láminas y progresivamente acortar la distancia entre el observador y el test, haciendo que el observador avance hacia el test.

Toda la parte experimental se ha realizado en el laboratorio de color «Mariano Aguilar» de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.

Láminas (Test)

Las láminas están diseñadas en un ordenador Apple (con sistema operativo Mac OS X, versión 10.5.8), con el software Adobe Illustrator CS4, Versión 14.0.0. Tienen unas dimensiones de veinte cm de lado.

El círculo sobre el que se representa la red de Ronchi con la secuencia, también tiene una dimensión de veinte cm de diámetro, quedando el círculo centrado con el cuadrado, y las secuencias también centradas en la posición correspondiente bien sea vertical, horizontal o inclinada.

Las esquinas del cuadrado quedan en blanco, afectando de igual manera a todas las láminas y observadores. Estas esquinas son necesarias para el sistema de sujeción. Sujetamos los tests mediante imanes. Una plancha metálica (utilizada en otras experiencias) sujeta a una estructura (montada con piezas que recuerdan a las estructuras metálicas de una estantería), es la superficie sobre la que mediante los imanes, sujetamos las láminas. La plancha está situada perpendicularmente y centrada en la dirección del observador. Variando únicamente la distancia del observador al acercarse este como vemos en la figura 3.1.



Figura 3.1 Observadora evaluando las láminas.

A la plancha metálica está sujeta una cartulina que hace de fondo. Esta cartulina tiene un color gris medio con el fin de no influir en las experiencias.

Sobre esta cartulina se colocan dos láminas (test), que el observador evalúa. En la parte inferior de la cartulina gris se colocan dos papelitos, uno en la izquierda «1» y otro en la derecha «2», referenciando la lámina, que está situada a la altura media de los ojos. En la hoja de toma de datos (figura 3.2 izquierda), donde los observado-

res anotan las valoraciones de las láminas (test) expuestas, también está referenciada con un «1» la columna de la izquierda, y con un «2» la de la derecha.

Todas las láminas y la hoja de control de color (figura 3.3 derecha) están impresas con la misma impresora y con el mismo tóner de tinta. La hoja de control del color es de tamaño A3 (formato de papel UNE-EN-ISO 216), donde se sitúan cuadrados con una superficie suficiente para poder medir el color con mayor comodidad.

Tipo TEST:

RED Y ORIENTACIÓN

Observador:

Control:

Fecha:

Hora inicio:

Sesión nº:

Iluminación:

1:

2:

| | 1 | 2 |
|---|---|---|
| 8 | | 8 |
| 6 | | 6 |
| 4 | | 4 |
| 2 | | 2 |
| 1 | | 1 |
| 0 | | 0 |

| | |
|--|--|
| | |
| | |
| | |

Figura 3.3 Hoja de toma de datos (izquierda) y hoja de control del color (derecha).

El papel empleado para todas las láminas y para la hoja de control es el mismo, papel de 80 gr/m².

En las figuras 3.5 y 3.6 están representadas todas las láminas (test) que han sido evaluadas.

En el desarrollo de la experiencia relataremos con más detalles el procedimiento seguido, haciendo especial hincapié en la metodología empleada en el laboratorio.

Los colores de los tests son: negro, blanco, gris, rojo, verde y azul. Podemos ver sus coordenadas colorimétricas en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Coordenadas cromáticas de las láminas.

| | Y | x | y |
|------------|-------|------|------|
| Negro | 14,21 | 0,44 | 0,41 |
| Gris medio | 26,67 | 0,43 | 0,43 |
| Blanco | 83,19 | 0,43 | 0,41 |
| Rojo | 29,27 | 0,58 | 0,36 |
| Verde | 28,95 | 0,37 | 0,48 |
| Azul | 21,61 | 0,29 | 0,36 |

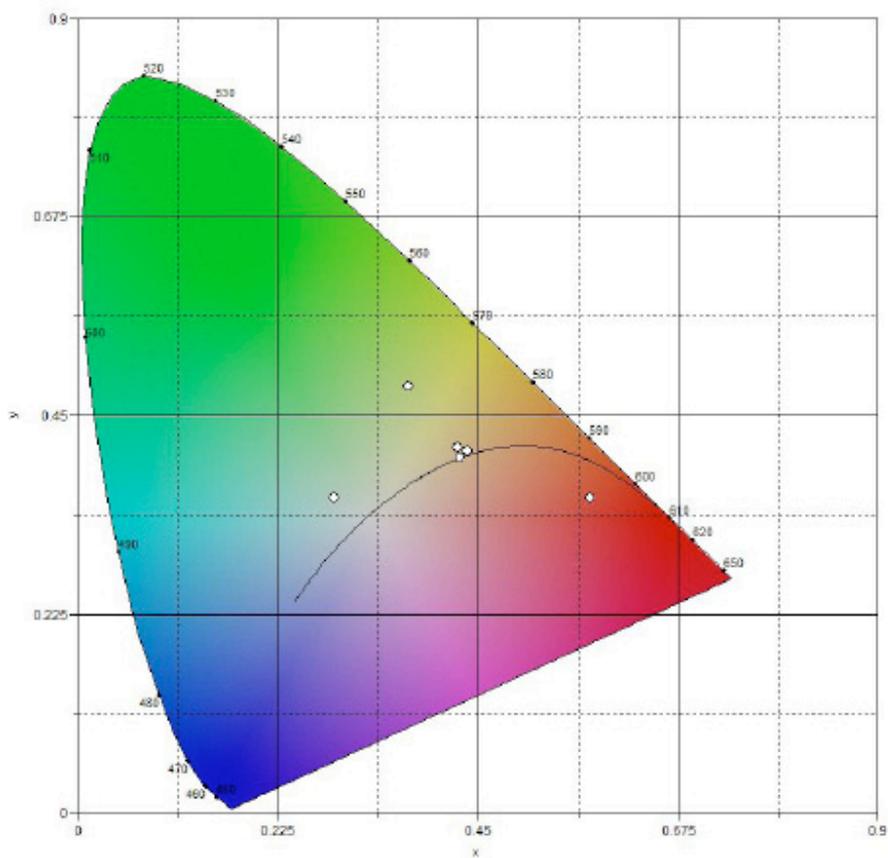
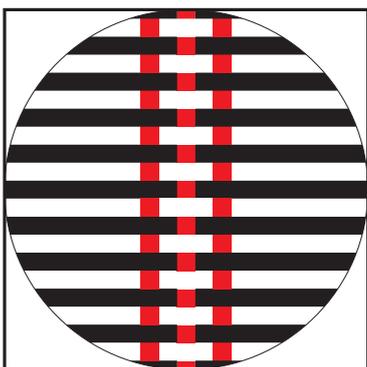
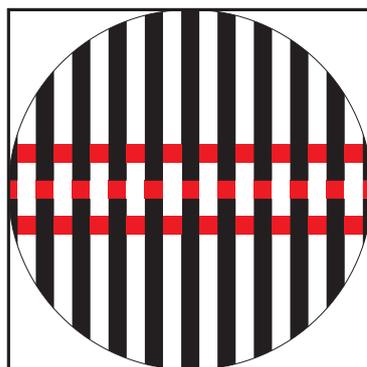


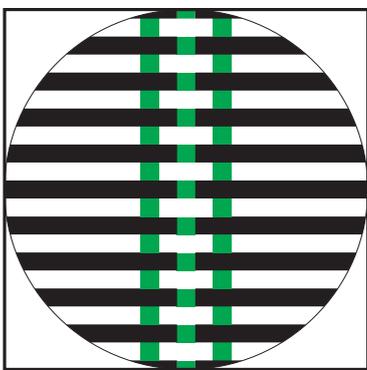
Figura 3.4 Representación en el diagrama xy de la CIE las coordenadas cromáticas utilizadas para la creación de las láminas.



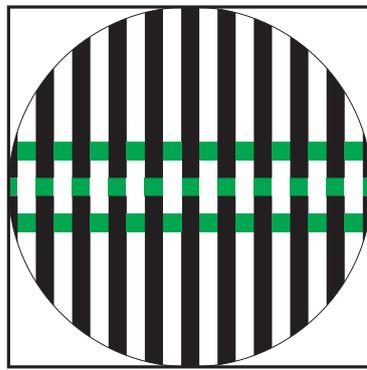
A-1



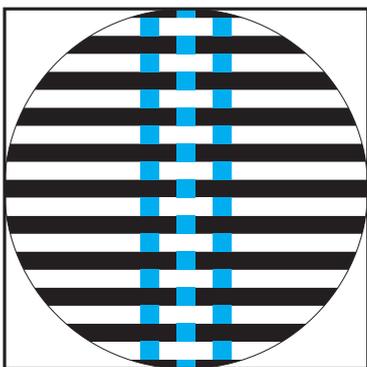
A-2



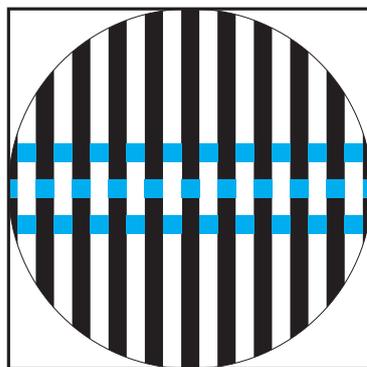
A-3



A-4

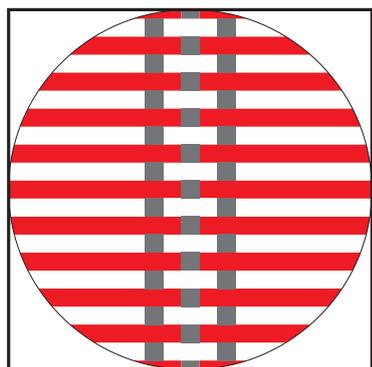


A-5

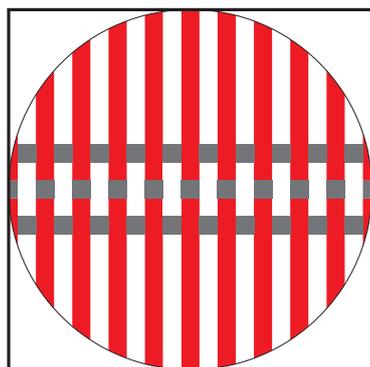


A-6

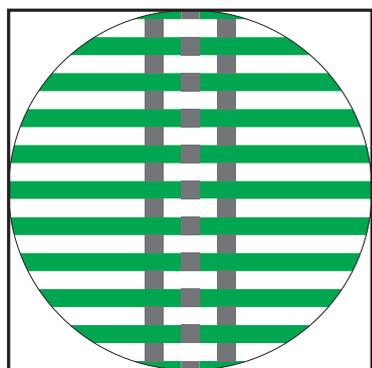
Figura 3.5 Láminas A1. Secuencia cromática (roja, verde y azul) perpendicular a la red acromática.



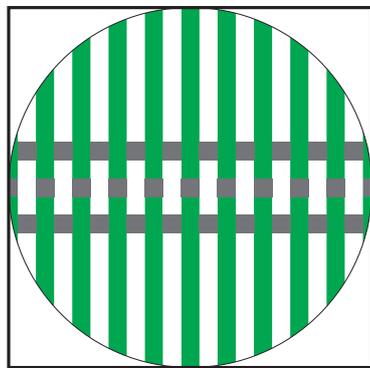
A-7



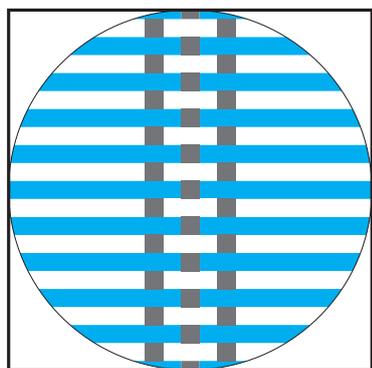
A-8



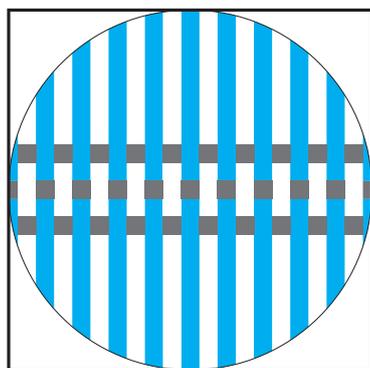
A-9



A-10



A-11



A-12

Figura 3.6 Láminas A2. Secuencia acromática (gris medio) perpendicular a la red monocromática (blanca-roja, blanca-verde y blanca-azul).

Iluminancia

Hemos usado para iluminar las láminas un proyector de diapositivas Reflecta, con una lámpara Philips. Al proyector le aplicamos un filtro difusor.

285 lux son los que marca el luxómetro situado entre las dos láminas a la altura del proyector, (más o menos a la altura de los ojos del observador).

El proyector está situado formando un ángulo de 45° con la dirección de mirada del observador tal y como indica la figura 3.7 derecha.



Figura 3.7 Lámpara de proyector Philips de 24V - 150W (izquierda). Disposición del proyector respecto a la dirección de mirada del observador, ángulo de 45° (derecha).

Aparatos de medida

Hemos utilizado para la toma de datos el luxómetro CA 810 de Chauvin Arnoux y el espectrofotómetro CS1000A de Konica Minolta (figura 3.8). Para el tratamiento de los datos del espectrofotómetro hemos usado el software de Konica Minolta CS-S10w.



Figura 3.8 Espectrofotómetro Konica Minolta CS-1000A (izquierda) y luxómetro CA-810 Chauvin Arnoux.

Descripción y justificación de los parámetros experimentales

Efecto Bezold

El efecto Bezold, ya tratado en esta tesis en el capítulo siete, es el cambio perceptivo de un color al estar este intercalado (en nuestro caso) por franjas de otro color, produciéndose el efecto contrario al contraste directo.

El valor del efecto Bezold normalmente se da adjetivamente, grande, muy grande, oscuro, muy oscuro, etc. no encontrando en la bibliografía una fórmula que lo cuantifique.

Nosotros hemos utilizado una fórmula deducida de la del contraste, en la que el valor aunque no exacto es bastante aproximado.

$$\text{Contraste} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max}}$$

V es el valor (0 - 10) que da el observador a la franja central del test y diez es el valor constante que damos a las franjas laterales, ya que en nuestras condiciones experimentales es prácticamente inapreciable.

Color

Los colores elegidos son el rojo, verde y azul por ser tres colores muy separados en el espectro. Sus longitudes de onda son rojo - 602 (longitud de onda larga), verde - 564 (longitud de onda media) y azul - 499 (longitud de onda corta).

Vamos a seguir trabajando utilizando colores no solo en función de su longitud de onda, también de su luminancia.

Descripción y justificación del método experimental

El método experimental empleado consiste en una escala que va desde el cero (donde no ven la secuencia blanqueada central) hasta diez, (el color percibido en las secuencias laterales oscurecidas es igual al de la central). El observador indica a

medida que avanza, el valor (V) que en su opinión tiene en esa escala la secuencia central. Helson realiza una valoración similar empleando las palabras: mucho, mucho más claro, igual, mucho, mucho más oscuro, siendo esta escala del uno al nueve con un valor medio de cinco (Helson, 1963). Con este valor (V) determinamos el contraste cromático entre la secuencia central y las laterales, contraste con el que cuantificamos el efecto Bezold.

En trabajos anteriores realizados en nuestro laboratorio se comparaba el color a valorar con una rueda formada por dos discos, uno rojo y otro negro, en donde al girar se varía la cantidad de negro en la mezcla según el observador indicaba, tomando como dato el porcentaje empleado. Este sistema daba resultados muy similares al sistema empleado en este trabajo y en anteriores, por lo que hemos optado por esta manera de comparar.

Desarrollo de la experiencia

La experiencia se desarrolló desde el mes de septiembre del año 2009 a enero del año 2010 con los siete observadores. Formamos cuatro grupos, tres grupos de dos observadores cada uno quedando un observador sin pareja.

$$\text{Contraste} = \frac{10 - V}{10} = \text{Efecto Bezold}$$

Con cada grupo se propuso un horario de mutuo acuerdo de dos sesiones semanales. La única condición es que no podían estar seguidas. Así, por ejemplo, unos eligieron lunes y miércoles, otros martes y jueves, etc.

La motivación de los observadores era diferente, por un lado están los que colaboran por conseguir créditos de libre elección y por otro lado los que participan por interés en el color y en la investigación provenientes de la escuela de Bellas Artes, San Carlos. Todos ellos ejercieron un nivel de compromiso excelente.

A cada observador se le explica en la misma reunión que acordamos el horario, la necesidad de compromiso. Se les muestra el fin de la experiencia (enero 2010) y todos entienden y aceptan el reto.

Las sesiones tienen una duración de una hora aproximadamente. Cada sesión se distribuye en dos fases: fase de adaptación a la oscuridad y fase de medición (toma de datos).

El laboratorio está perfectamente acondicionado para ejecutar las dos fases, disponiendo de dos sillas un metro por delante del inicio del recorrido con dos fines: la adaptación a la oscuridad (están encendidas la luz del proyector y el tubo fluorescente de la entrada del laboratorio), y el descanso del observador mientras su compañero realiza activamente la fase de medición.

Una vez completados los quince minutos de adaptación a la oscuridad se inicia la fase de observación. Esta fase consiste en puntuar de cero a diez la secuencia central de las láminas presentadas al observador.

Estando los observadores sentados, el control (Jorge Montalvá) sitúa dos láminas seleccionadas al azar. El control elige al azar pares de estas seis láminas.

Una vez colocadas las láminas con los imanes, centradas horizontalmente con su papelito «1» ó «2» sea la lámina de la izquierda o derecha, y centradas verticalmente a la altura de los ojos, el control llama al primer observador (el segundo observador permanece sentado) y le entrega la hoja de toma de datos, un bolígrafo y una carpeta rígida para que le sirva de superficie de apoyo al observador que ha llamado y va a realizar las mediciones.

El observador se sitúa en la línea que marca cuatro metros de distancia entre el observador y las láminas. El control le enuncia la actividad que tiene que hacer:

Puntúa de cero a diez la secuencia central comparándola con las secuencias laterales. Cero será cuando no veas la secuencia y diez cuando sea igual a las laterales.

Al acabar el control de recitarle estas palabras, el observador se dispone a puntuar en la distancia de cuatro metros, primero la lámina de la izquierda (1) y después la de la derecha (2). Cuando acaba avanza hasta situarse sobre la marca de tres metros (distancia del observador a las láminas) y vuelve a puntuar. Este procedimiento se repite para las distancias dos, uno y medio metro. Una vez acabado el observa-

dor de puntuar las dos láminas, vuelve a su sitio por un recorrido alternativo evitando el deslumbramiento ocasionado por la luz del proyector.

Antes de sentarse el observador en su silla, le entrega al control todo el material (hoja de toma de datos, bolígrafo y carpeta de apoyo) y se sienta. El control entrega con una nueva hoja de toma de datos el material al segundo observador que forma grupo con el anterior, para que realice el mismo procedimiento que su compañero. El control al igual que hizo con su compañero, al situarse en la marca de cuatro metros le repetirá el enunciado del ejercicio.

Al terminar el segundo observador, el control cambiará las láminas poniendo otras diferentes.

Cada observador en cada sesión evalúa un total de seis láminas. Cada lámina las puntúa un total de tres veces en cada sesión, dando un total de nueve hojas de toma de datos por sesión y observador.

Cada lámina por cada observador ha sido evaluada un total de diez veces, así para completar un grupo de láminas cada observador debía estar tres sesiones de las cuales una era de cuatro mediciones por lámina (en vez de lo usual que son tres).

La primera sesión entera se planificó como entrenamiento, los valores no contaban, aunque los observadores no estaban informados.

Durante las sesiones, la primera vez en cada sesión que el observador toma datos (la primera hoja de datos) la descartamos.

IV Resultados

En este apartado vamos a exponer los resultados experimentales. Todos los resultados que en este capítulo se exponen corresponden a las medias de los cuatro observadores elegidos en el capítulo anterior que son: Raúl Broseta, Juan Carlos Elorza, Marta Grau y María José Rodríguez.

Los resultados los hemos dividido en dos grupos en función de su color, tanto de la secuencia como de la red. Los grupos son:

A₁: Secuencia cromática perpendicular a la red. Red acromática horizontal/vertical.

A₂: Secuencia gris perpendicular a la red. Red monocromática horizontal/vertical.

En la página par (izquierda) encontramos las imágenes de los seis tests utilizados en ese subgrupo con su nombre (A₁ ó A₂) y la orientación de la red, agrupados en una figura. A continuación presentamos la tabla del efecto Bezold para los tests citados en la figura. En esta tabla vemos la relación que hay entre los metros de separación observador-test y su conversión a la frecuencia angular de la red. Los valores, ya convertidos a eB. Las tres últimas columnas expresan las diferencias entre las orientaciones.

En la página impar (derecha) tenemos la representación gráfica de los datos de la tabla anterior, en el eje de las abscisas está representada la frecuencia angular de la red (período/grado) y en el eje de las ordenadas el efecto Bezold (0-1). Hemos situado los puntos de los valores de la tabla en la gráfica y realizado la regresión lineal de cada grupo de valores del mismo test, dando lugar a una recta.

La siguiente tabla recoge para cada test (lámina) la ecuación de la recta que le corresponde mediante regresión lineal y la bondad del ajuste realizado con el indicador R².

**A₁: Secuencia cromática perpendicular a la red.
Red acromática horizontal/vertical.**

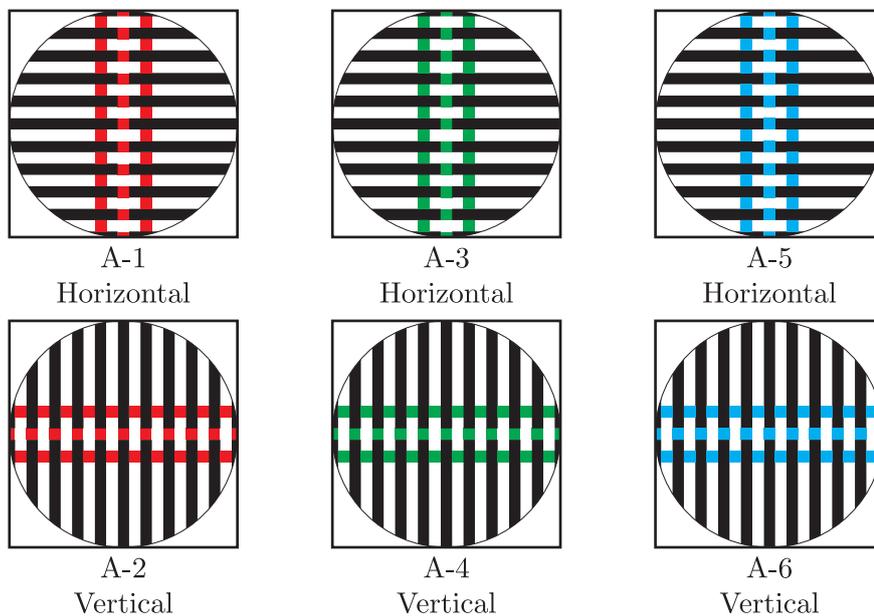


Figura 4.1 Láminas A₁ (20 x 20 cm) con red acromática.

Tabla 4.1 Efecto Bezold para las láminas de la figura 4.1.

| Sepa- ración obs- test (me- tros) | Frec. angular de la red (perío- do/gra- do) | Efecto Bezold | | | | | | Diferencias | | |
|--|---|-----------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Orientación de la red | | | | | | Secuencia | | |
| | | Horizontal | | | Vertical | | | Roja Δ_{H-v} | Verde Δ_{H-v} | Azul Δ_{H-v} |
| | | Secuencia | | | Secuencia | | | | | |
| | | (A-1) Roja | (A-3) Verde | (A-5) Azul | (A-2) Roja | (A-4) Verde | (A-6) Azul | | | |
| 4 | 3,5 | 0,55 | 0,69 | 0,73 | 0,50 | 0,70 | 0,70 | 0,05 | -0,01 | 0,03 |
| 3 | 2,6 | 0,43 | 0,56 | 0,56 | 0,38 | 0,54 | 0,55 | 0,05 | 0,02 | 0,01 |
| 2 | 1,8 | 0,28 | 0,39 | 0,39 | 0,25 | 0,33 | 0,39 | 0,03 | 0,06 | 0,00 |
| 1 | 0,9 | 0,16 | 0,23 | 0,25 | 0,13 | 0,19 | 0,24 | 0,02 | 0,04 | 0,01 |
| 0,5 | 0,4 | 0,07 | 0,12 | 0,15 | 0,06 | 0,09 | 0,14 | 0,01 | 0,03 | 0,01 |

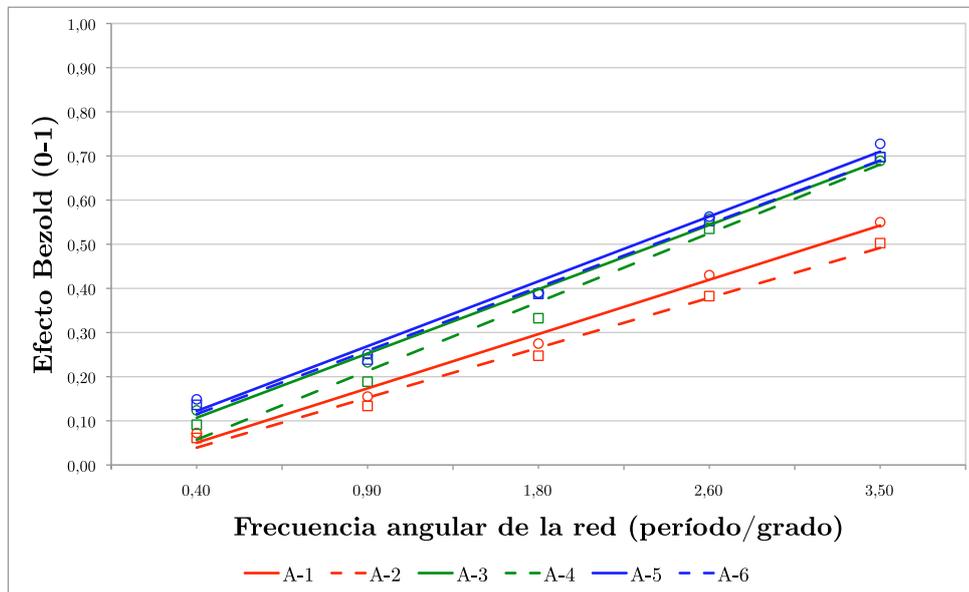


Figura 4.2 Relación del efecto Bezold y la frecuencia angular de la red de las láminas A-1, A-2, A-3, A-4, A-5 y A-6.

Tabla 4.2 Relación frecuencia de la red - efecto Bezold, (ecuación de la recta, figura 4.2) de las láminas de la figura 4.1.

| Láminas | Color de la secuencia | Orientación de la red | Ecuación de la recta | R ² |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| A-1 | Roja | Horizontal | $y = 0,12x - 0,07$ | 0,99 |
| A-2 | Roja | Vertical | $y = 0,11x - 0,07$ | 0,99 |
| A-3 | Verde | Horizontal | $y = 0,15x - 0,04$ | 0,99 |
| A-4 | Verde | Vertical | $y = 0,16x - 0,10$ | 0,98 |
| A-5 | Azul | Horizontal | $y = 0,15x - 0,03$ | 0,99 |
| A-6 | Azul | Vertical | $y = 0,14x - 0,03$ | 0,99 |

**A₂: Secuencia gris perpendicular a la red.
Red monocromática horizontal/vertical.**

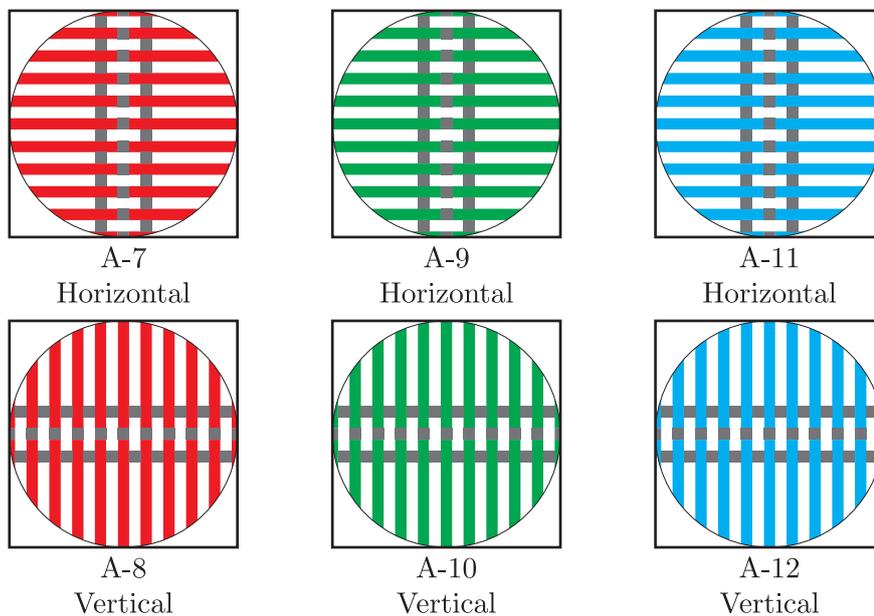


Figura 4.3 Láminas A₁ (20 x 20 cm) con red acromática.

Tabla 4.3 Efecto Bezold para las láminas de la figura 4.3.

| Sepa- ración obs- test (me- tros) | Frec. angular de la red (perío- do/gra- do) | Efecto Bezold | | | | | | Diferencias | | |
|--|---|-----------------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Orientación de la red | | | | | | Red | | |
| | | Horizontal | | | Vertical | | | Roja Δ_{H-V} | Verde Δ_{H-V} | Azul Δ_{H-V} |
| | | Red | | | Red | | | | | |
| | | (A-7) Roja | (A-9) Verde | (A-11) Azul | (A-8) Roja | (A-10) Verde | (A-12) Azul | | | |
| 4 | 3,5 | 0,68 | 0,76 | 0,72 | 0,56 | 0,67 | 0,72 | 0,13 | 0,10 | 0,00 |
| 3 | 2,6 | 0,53 | 0,61 | 0,59 | 0,43 | 0,54 | 0,57 | 0,10 | 0,07 | 0,02 |
| 2 | 1,8 | 0,37 | 0,43 | 0,44 | 0,31 | 0,38 | 0,38 | 0,06 | 0,05 | 0,05 |
| 1 | 0,9 | 0,24 | 0,30 | 0,29 | 0,20 | 0,25 | 0,24 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| 0,5 | 0,4 | 0,14 | 0,19 | 0,17 | 0,11 | 0,14 | 0,13 | 0,03 | 0,05 | 0,03 |

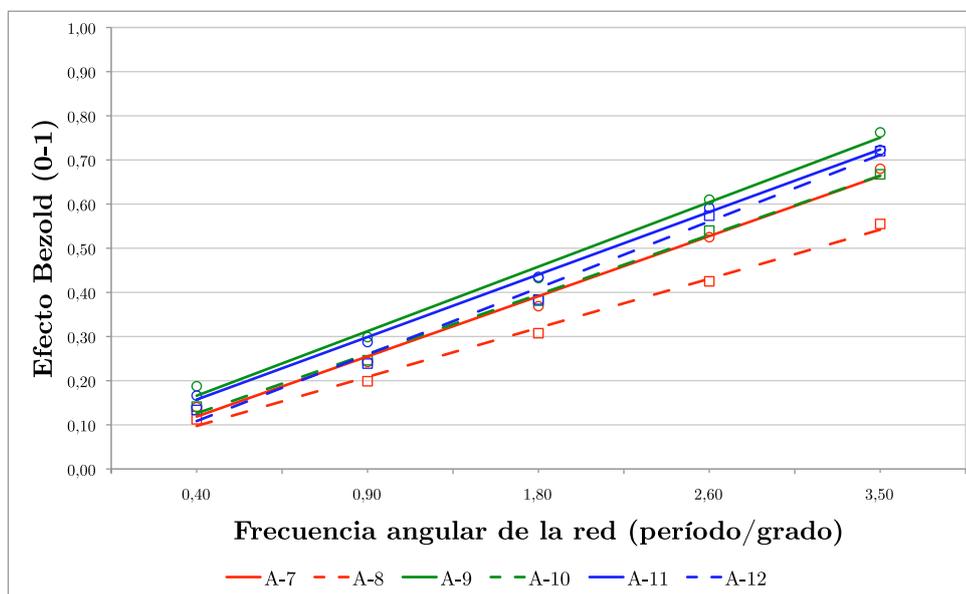


Figura 4.4 Relación del efecto Bezold y la frecuencia angular de la red de las láminas A-7, A-8, A-9, A-10, A-11 y A-12.

Tabla 4.4 Relación frecuencia de la red - efecto Bezold, (ecuación de la recta, figura 4.4) de las láminas de la figura 4.3.

| Láminas | Color de la secuencia | Orientación de la red | Ecuación de la recta | R ² |
|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------|
| A-7 | Roja | Horizontal | $y = 0,14x - 0,02$ | 0,99 |
| A-8 | Roja | Vertical | $y = 0,11x - 0,01$ | 0,99 |
| A-9 | Verde | Horizontal | $y = 0,15x + 0,02$ | 0,99 |
| A-10 | Verde | Vertical | $y = 0,14x - 0,01$ | 0,99 |
| A-11 | Azul | Horizontal | $y = 0,14x + 0,02$ | 0,99 |
| A-12 | Azul | Vertical | $y = 0,15x - 0,04$ | 0,99 |

V Conclusiones

Red acromática: secuencias rojas, verdes y azules

El valor del efecto Bezold (asimilación cromática) producido en las secuencias rojas, verdes o azules, vistas a través de redes acromáticas depende de la saturación cromática de dichas secuencias.

La saturación indica el mayor o menor aspecto cromático de los colores, frente al blanco, por lo tanto es lógico que la saturación dependa principalmente de la pureza (porcentaje de blanco en un estímulo - pureza colorimétrica). La saturación se puede medir por el número de pasos que hay que dar para pasar del blanco al color puro.

La saturación depende del tono, con una misma pureza hay tonos más saturados que otros. El violeta es el más saturado y el amarillo el menos. La gran saturación del violeta nos recuerda su posición en el diagrama cromático, casi en la recta aluminica.

Los colores poco saturados (mucho blanco) al mezclarse, aunque solo sea perceptiblemente con el blanco de la red envolvente intercalada en la secuencia, se ven más blanqueados (aumento del efecto Bezold) que los colores de las secuencias con colores más saturados. De donde se deduce que nuestro azul y verde tienen prácticamente la misma saturación (eB prácticamente iguales) y que la saturación de nuestra secuencia roja es menor (eB menor).

En la figura 5.1 la forma de las curvas de saturación constante dadas por Judd et al. para cuerpos difusores de $\beta=0,1$; indica una vez más lo lejos que está el diagrama CIEXY de ser una escala uniforme en lo que a sensación cromática se refiere (Newhall et al., 1943).

Teniendo en cuenta que con las β varía la relación saturación - pureza (nos estamos refiriendo a la pureza colorimétrica) y en nuestras experiencias ($\beta=0,5$) la β se separa mucho de la indicada en la figura 5.1, por lo que no podemos partir de ellas en

nuestras conclusiones, pero damos por hecho que las curvas de saturación constante varían con el tono del color con cualquier valor de β .

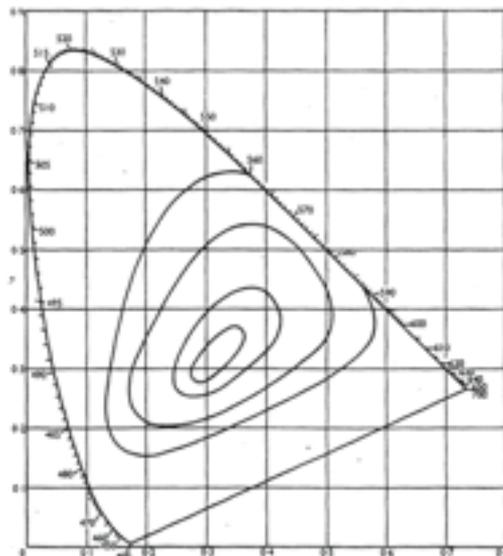


Figura 5.1 Curvas de saturación constante. Adaptado de Newhall (1943).

Red monocromática: roja-blanca, verde-blanca y azul-blanca, con secuencia gris

En estas redes con el valor mínimo de las frecuencias utilizadas en nuestras experiencias aún se distingue en la secuencia central un ligerísimo tono complementario del existente en las redes acromáticas utilizadas, ligerísimo tono consecuencia del contraste directo que acompaña al efecto Bezold, pero que por su pequeñez no lo tenemos en cuenta al cuantificar el eB.

El umbral diferencial de saturación (en la mezcla del mismo tono, misma onda dominante, con blanco) disminuye a medida que nos acercamos al blanco; por lo tanto con las redes monocromáticas la coloración de la secuencia acromática (gris) tiene un umbral diferencial mayor que el correspondiente a la mezcla de una secuencia cromática con una acromática, ya que en este caso estamos más cerca del color, hemos añadido (perceptible o no perceptible) blanco al color y no color al blanco, como en el caso de las redes monocromáticas; por lo tanto el eB (dependiente del umbral diferencial) es mayor con las redes monocromáticas, resultados obtenidos en

este TFG con la orientación horizontal de la red (tabla 5.1 - figura 5.2) que es como mejor se aprecia el eB.

Al sustituir la red acromática por la monocromática, teniendo ambas orientación horizontal, la diferencia en el efecto Bezold vista en la secuencia gris intercalada es de 0,05 con las redes monocromáticas blancas-azules y blancas-verdes; con las rojas esta diferencia (acromática - monocromática) toma un valor aproximado de 0,1 (mayor eB con la red monocromática blanca- roja, blanca-verde y blanca-azul) como vemos en la tabla 5.1 y la figura 5.2.

Con orientación vertical tanto en las redes acromáticas como en las monocromáticas (blanca-roja, blanca-verde y blanca-azul) la diferencia del eB entre unas y otras disminuye aproximadamente 0,05 respecto a la diferencia que hay con la orientación horizontal.

Por lo tanto en este caso (orientación vertical) no existe diferencia ($0,05 - 0,05 = 0$) entre ambas orientaciones con las redes monocromáticas blanca-verde y blanca-azul, persistiendo una pequeña diferencia ($0,1 - 0,05 = 0,05$) a favor de la monocromática (blanca-roja) en la tabla 5.2 y figura 5.3.

Tabla 5.1 Valores del efecto Bezold en redes horizontales acromáticas y monocromáticas.
 Δ_{A-M} =Diferencias del efecto Bezold entre las redes acromáticas y monocromáticas.

| Sepa- ración obs- test(m etros) | Frec. angular de la red (perío- do/gra- do) | Efecto Bezold | | | | | | Diferencias | | |
|---|---|----------------------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Orientación horizontal de la red | | | | | | Red horizontal | | |
| | | Acromática | | | Monocromática | | | Roja Δ_{A-M} | Verde Δ_{A-M} | Azul Δ_{A-M} |
| | | Secuencia | | | Red | | | | | |
| | | (A-1) Roja | (A-3) Verde | (A-5) Azul | (A-7) Roja | (A-9) Verde | (A-11) Azul | | | |
| 4 | 3,5 | 0,55 | 0,69 | 0,73 | 0,68 | 0,76 | 0,72 | -0,13 | -0,07 | 0,01 |
| 3 | 2,6 | 0,43 | 0,56 | 0,56 | 0,53 | 0,61 | 0,59 | -0,10 | -0,05 | -0,03 |
| 2 | 1,8 | 0,28 | 0,39 | 0,39 | 0,37 | 0,43 | 0,44 | -0,09 | -0,04 | -0,05 |
| 1 | 0,9 | 0,16 | 0,23 | 0,25 | 0,24 | 0,30 | 0,29 | -0,08 | -0,07 | -0,04 |
| 0,5 | 0,4 | 0,07 | 0,12 | 0,15 | 0,14 | 0,19 | 0,17 | -0,07 | -0,07 | -0,02 |

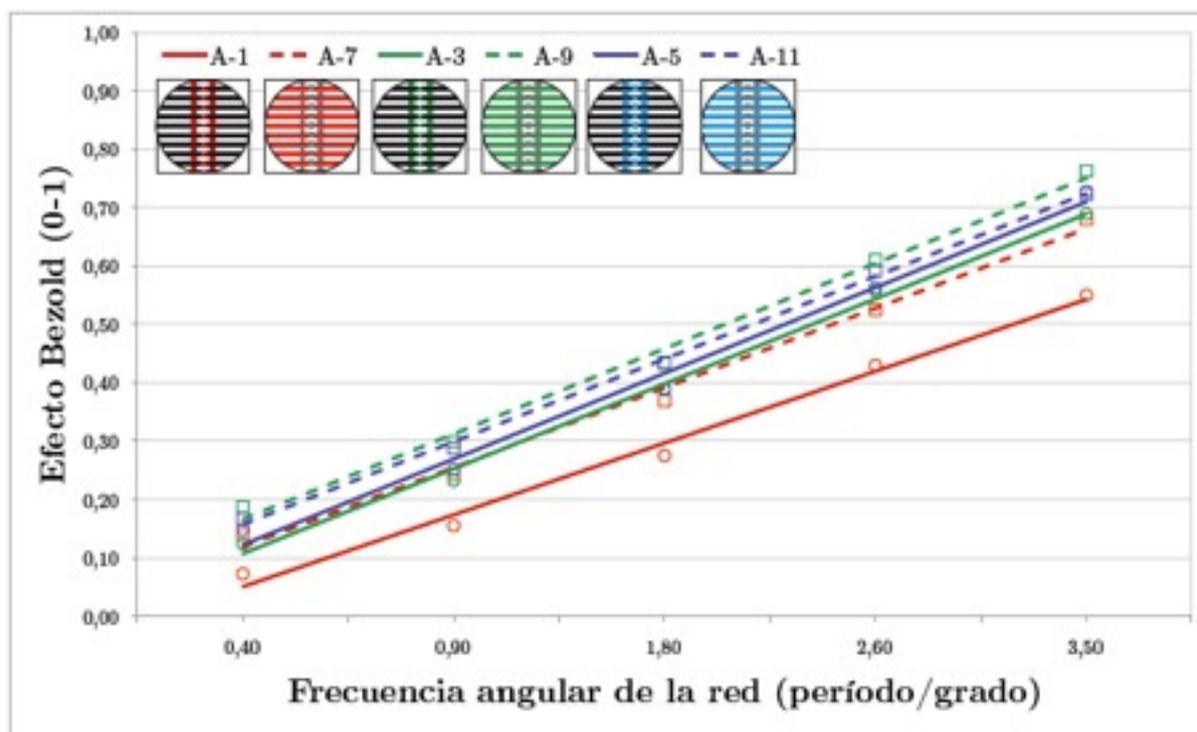


Figura 5.2 Efecto Bezold con redes acromáticas y monocromáticas horizontales.

Tabla 5.1 Valores del efecto Bezold en redes horizontales acromáticas y monocromáticas.
 Δ_{A-M} =Diferencias del efecto Bezold entre las redes acromáticas y monocromáticas.

| Sepa- ración obs- test(m- etros) | Frec. angular de la red (perío- do/gra- do) | Efecto Bezold | | | | | | Diferencias | | |
|--|---|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| | | Orientación vertical de la red | | | | | | Red vertical | | |
| | | Acromática | | | Monocromática | | | Roja Δ_{A-M} | Verde Δ_{A-M} | Azul Δ_{A-M} |
| | | Secuencia | | | Red | | | | | |
| | | (A-2) Roja | (A-4) Verde | (A-6) Azul | (A-8) Roja | (A-10) Verde | (A-12) Azul | | | |
| 4 | 3,5 | 0,50 | 0,70 | 0,70 | 0,56 | 0,67 | 0,72 | -0,06 | 0,03 | -0,02 |
| 3 | 2,6 | 0,38 | 0,54 | 0,55 | 0,43 | 0,54 | 0,57 | -0,05 | 0,00 | -0,02 |
| 2 | 1,8 | 0,25 | 0,33 | 0,39 | 0,31 | 0,38 | 0,38 | -0,06 | -0,05 | 0,01 |
| 1 | 0,9 | 0,13 | 0,19 | 0,24 | 0,20 | 0,25 | 0,24 | -0,07 | -0,06 | 0,00 |
| 0,5 | 0,4 | 0,06 | 0,09 | 0,14 | 0,11 | 0,14 | 0,13 | -0,05 | -0,05 | 0,01 |

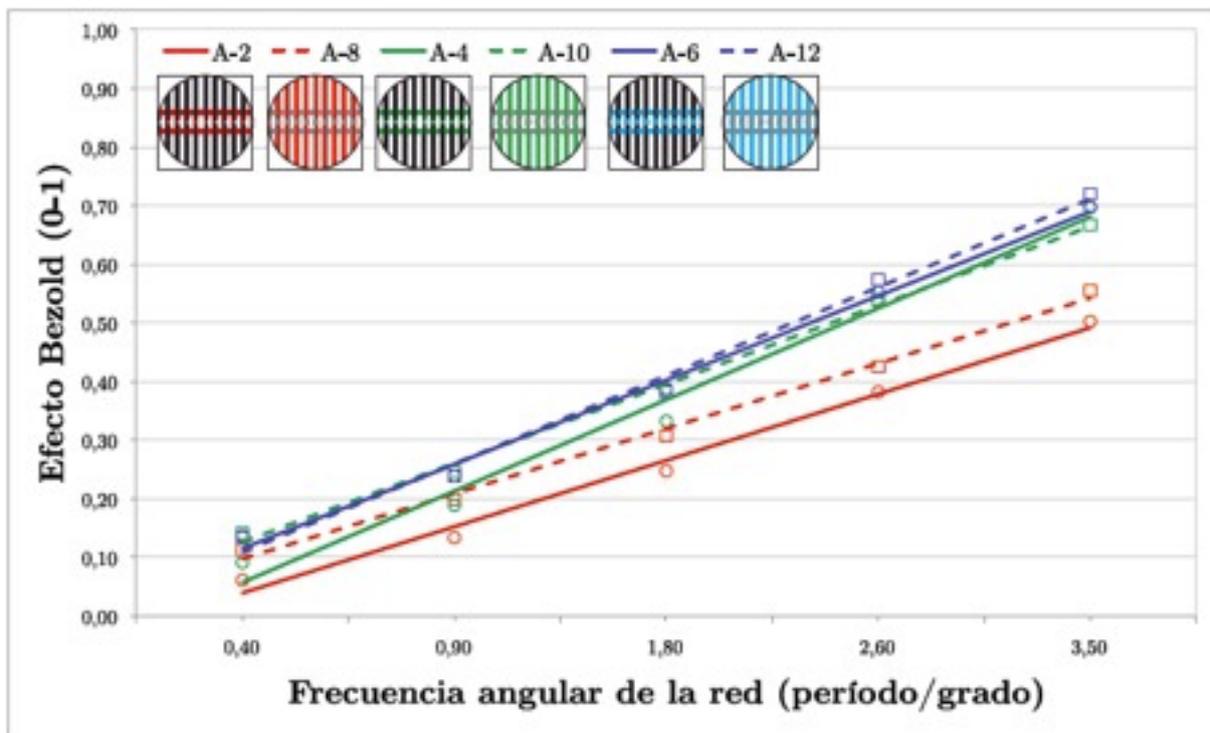


Figura 5.2 Efecto Bezold con redes acromáticas y monocromáticas verticales.

VI Anexo

Medias y desviación típica

En este apéndice recogemos las medias de los siete observadores para los doce tests (láminas). Cada observador ha realizado diez mediciones de cada lámina en las cinco distancias valoradas.

El observador indicará el valor de V en las diferentes distancias, a 50, 100, 200, 300 y 400 centímetros.

Cada tabla recoge los datos de la media de las diez mediciones y su desviación típica, en las cinco distancias valoradas de un observador para una lámina (test).

Tabla A.1 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A1.

| LÁMINA: A1 | A1V50 | A1V100 | A1V200 | A1V300 | A1V400 |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,075 | 0,190 | 0,430 | 0,670 | 0,770 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,110 | 0,048 | 0,097 | 0,078 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,170 | 0,290 | 0,500 | 0,740 | 0,990 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,032 | 0,082 | 0,070 | 0,032 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,120 | 0,230 | 0,410 | 0,660 | 0,840 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,048 | 0,057 | 0,070 | 0,052 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,110 | 0,240 | 0,390 | 0,550 | 0,670 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,052 | 0,074 | 0,053 | 0,067 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,320 | 0,460 | 0,620 | 0,710 | 0,800 |
| Desviación típica | 0,063 | 0,084 | 0,063 | 0,032 | 0,000 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,020 | 0,060 | 0,130 | 0,310 | 0,530 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,052 | 0,082 | 0,088 | 0,149 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,110 | 0,210 | 0,335 | 0,530 | 0,720 |
| Desviación típica | 0,039 | 0,039 | 0,094 | 0,082 | 0,063 |

Tabla A.2 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A2.

| LÁMINA: A2 | A2V50 | A2V100 | A2V200 | A2V300 | A2V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,000 | 0,010 | 0,050 | 0,310 | 0,540 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,021 | 0,084 | 0,256 | 0,295 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,060 | 0,070 | 0,100 | 0,160 | 0,230 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,048 | 0,000 | 0,052 | 0,048 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,110 | 0,240 | 0,410 | 0,620 | 0,810 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,052 | 0,057 | 0,042 | 0,032 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,100 | 0,250 | 0,400 | 0,530 | 0,670 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,053 | 0,067 | 0,048 | 0,048 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,230 | 0,360 | 0,520 | 0,670 | 0,770 |
| Desviación típica | 0,095 | 0,070 | 0,063 | 0,048 | 0,067 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,030 | 0,060 | 0,120 | 0,240 | 0,420 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,052 | 0,079 | 0,135 | 0,215 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,090 | 0,125 | 0,190 | 0,260 | 0,360 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,035 | 0,052 | 0,126 | 0,151 |

Tabla A.3 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A3.

| LÁMINA: A3 | A3V50 | A3V100 | A3V200 | A3V300 | A3V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,130 | 0,280 | 0,520 | 0,745 | 0,880 |
| Desviación típica | 0,103 | 0,123 | 0,123 | 0,107 | 0,059 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,240 | 0,350 | 0,560 | 0,810 | 1,000 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,118 | 0,108 | 0,074 | 0,000 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,200 | 0,310 | 0,510 | 0,730 | 0,880 |
| Desviación típica | 0,047 | 0,057 | 0,057 | 0,067 | 0,063 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,200 | 0,350 | 0,510 | 0,650 | 0,790 |
| Desviación típica | 0,067 | 0,053 | 0,074 | 0,053 | 0,057 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,260 | 0,390 | 0,490 | 0,630 | 0,740 |
| Desviación típica | 0,097 | 0,110 | 0,110 | 0,067 | 0,070 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,040 | 0,070 | 0,170 | 0,390 | 0,605 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,048 | 0,048 | 0,129 | 0,164 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,250 | 0,385 | 0,560 | 0,770 | 0,915 |
| Desviación típica | 0,071 | 0,067 | 0,097 | 0,048 | 0,024 |

Tabla A.4 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A4.

| LÁMINA: A4 | A4V50 | A4V100 | A4V200 | A4V300 | A4V400 |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,020 | 0,095 | 0,210 | 0,560 | 0,760 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,068 | 0,160 | 0,158 | 0,108 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,100 | 0,120 | 0,200 | 0,270 | 0,330 |
| Desviación típica | 0,047 | 0,078 | 0,149 | 0,258 | 0,241 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,190 | 0,300 | 0,470 | 0,710 | 0,860 |
| Desviación típica | 0,057 | 0,047 | 0,048 | 0,088 | 0,070 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,140 | 0,290 | 0,450 | 0,610 | 0,740 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,088 | 0,085 | 0,088 | 0,052 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,220 | 0,370 | 0,500 | 0,630 | 0,730 |
| Desviación típica | 0,103 | 0,116 | 0,115 | 0,095 | 0,067 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,010 | 0,010 | 0,080 | 0,210 | 0,310 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,032 | 0,079 | 0,057 | 0,185 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,195 | 0,315 | 0,495 | 0,710 | 0,890 |
| Desviación típica | 0,050 | 0,075 | 0,083 | 0,102 | 0,046 |

Tabla A.5 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A5.

| LÁMINA: A5 | A5V50 | A5V100 | A5V200 | A5V300 | A5V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,150 | 0,335 | 0,660 | 0,835 | 0,960 |
| Desviación típica | 0,135 | 0,180 | 0,126 | 0,047 | 0,52 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,230 | 0,350 | 0,600 | 0,820 | 1,000 |
| Desviación típica | 0,067 | 0,085 | 0,094 | 0,079 | 0,000 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,210 | 0,370 | 0,540 | 0,770 | 0,910 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,048 | 0,070 | 0,067 | 0,032 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,210 | 0,380 | 0,550 | 0,670 | 0,770 |
| Desviación típica | 0,057 | 0,063 | 0,053 | 0,048 | 0,048 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,230 | 0,390 | 0,530 | 0,650 | 0,760 |
| Desviación típica | 0,067 | 0,099 | 0,082 | 0,053 | 0,052 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,010 | 0,050 | 0,150 | 0,330 | 0,460 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,097 | 0,085 | 0,134 | 0,184 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,215 | 0,330 | 0,510 | 0,715 | 0,900 |
| Desviación típica | 0,058 | 0,071 | 0,088 | 0,067 | 0,000 |

Tabla A.6 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A6.

| LÁMINA: A6 | A6V50 | A6V100 | A6V200 | A6V300 | A6V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,025 | 0,155 | 0,310 | 0,685 | 0,860 |
| Desviación típica | 0,063 | 0,186 | 0,213 | 0,106 | 0,070 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,100 | 0,140 | 0,180 | 0,270 | 0,360 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,052 | 0,092 | 0,189 | 0,237 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,120 | 0,230 | 0,420 | 0,680 | 0,860 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,048 | 0,063 | 0,063 | 0,052 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,160 | 0,300 | 0,450 | 0,660 | 0,780 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,082 | 0,071 | 0,070 | 0,042 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,200 | 0,350 | 0,500 | 0,640 | 0,730 |
| Desviación típica | 0,082 | 0,071 | 0,047 | 0,052 | 0,048 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,000 | 0,030 | 0,160 | 0,330 | 0,510 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,048 | 0,070 | 0,095 | 0,185 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,175 | 0,275 | 0,425 | 0,665 | 0,860 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,042 | 0,054 | 0,058 | 0,046 |

Tabla A.7 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A7.

| LÁMINA: A7 | A7V50 | A7V100 | A7V200 | A7V300 | A7V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,045 | 0,135 | 0,333 | 0,450 | 0,560 |
| Desviación típica | 0,060 | 0,075 | 0,180 | 0,186 | 0,201 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,240 | 0,400 | 0,600 | 0,810 | 1,000 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,094 | 0,133 | 0,099 | 0,000 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,130 | 0,260 | 0,440 | 0,620 | 0,810 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,052 | 0,052 | 0,042 | 0,032 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,080 | 0,200 | 0,330 | 0,470 | 0,600 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,067 | 0,067 | 0,067 | 0,047 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,160 | 0,270 | 0,440 | 0,600 | 0,720 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,067 | 0,097 | 0,105 | 0,079 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,000 | 0,040 | 0,120 | 0,250 | 0,310 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,070 | 0,063 | 0,085 | 0,099 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,050 | 0,110 | 0,210 | 0,400 | 0,570 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,032 | 0,084 | 0,133 | 0,200 |

Tabla A.8 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A8.

| LÁMINA: A8 | A8V50 | A8V100 | A8V200 | A8V300 | A8V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,010 | 0,075 | 0,175 | 0,300 | 0,480 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,079 | 0,116 | 0,141 | 0,148 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,140 | 0,220 | 0,380 | 0,580 | 0,730 |
| Desviación típica | 0,052 | 0,079 | 0,162 | 0,220 | 0,287 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,110 | 0,220 | 0,430 | 0,640 | 0,810 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,063 | 0,067 | 0,052 | 0,032 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,070 | 0,170 | 0,310 | 0,460 | 0,600 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,048 | 0,057 | 0,070 | 0,067 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,120 | 0,260 | 0,420 | 0,600 | 0,720 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,070 | 0,114 | 0,094 | 0,079 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,000 | 0,010 | 0,100 | 0,260 | 0,410 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,032 | 0,067 | 0,097 | 0,179 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,055 | 0,095 | 0,160 | 0,210 | 0,280 |
| Desviación típica | 0,016 | 0,016 | 0,046 | 0,032 | 0,063 |

Tabla A.9 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A9.

| LÁMINA: A9 | A9V50 | A9V100 | A9V200 | A9V300 | A9V400 |
|--------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,075 | 0,170 | 0,325 | 0,540 | 0,680 |
| Desviación típica | 0,063 | 0,125 | 0,180 | 0,222 | 0,266 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,230 | 0,360 | 0,590 | 0,780 | 0,980 |
| Desviación típica | 0,067 | 0,097 | 0,099 | 0,123 | 0,063 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,230 | 0,360 | 0,530 | 0,730 | 0,890 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,052 | 0,067 | 0,048 | 0,032 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,110 | 0,250 | 0,410 | 0,580 | 0,720 |
| Desviación típica | 0,057 | 0,071 | 0,088 | 0,092 | 0,063 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,220 | 0,370 | 0,520 | 0,660 | 0,760 |
| Desviación típica | 0,063 | 0,067 | 0,063 | 0,052 | 0,052 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,010 | 0,040 | 0,190 | 0,330 | 0,430 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,051 | 0,074 | 0,067 | 0,067 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,155 | 0,270 | 0,430 | 0,660 | 0,845 |
| Desviación típica | 0,044 | 0,082 | 0,079 | 0,052 | 0,050 |

Tabla A.10 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A10.

| LÁMINA: A10 | A10V50 | A10V100 | A10V200 | A10V300 | A10V400 |
|--------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,010 | 0,085 | 0,210 | 0,370 | 0,490 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,058 | 0,120 | 0,162 | 0,179 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,100 | 0,140 | 0,190 | 0,240 | 0,290 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,052 | 0,074 | 0,052 | 0,074 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,220 | 0,350 | 0,550 | 0,710 | 0,890 |
| Desviación típica | 0,063 | 0,071 | 0,053 | 0,032 | 0,032 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,130 | 0,260 | 0,420 | 0,580 | 0,730 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,070 | 0,079 | 0,063 | 0,048 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,110 | 0,240 | 0,410 | 0,620 | 0,730 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,070 | 0,088 | 0,092 | 0,082 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,000 | 0,030 | 0,120 | 0,270 | 0,460 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,048 | 0,079 | 0,095 | 0,097 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,125 | 0,225 | 0,380 | 0,670 | 0,870 |
| Desviación típica | 0,035 | 0,059 | 0,063 | 0,082 | 0,048 |

Tabla A.11 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A11.

| LÁMINA: A11 | A11V50 | A11V100 | A11V200 | A11V300 | A11V400 |
|--------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,085 | 0,200 | 0,370 | 0,530 | 0,660 |
| Desviación típica | 0,075 | 0,094 | 0,125 | 0,142 | 0,151 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,290 | 0,390 | 0,600 | 0,820 | 1,000 |
| Desviación típica | 0,074 | 0,099 | 0,082 | 0,042 | 0,000 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,200 | 0,310 | 0,560 | 0,750 | 0,880 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,032 | 0,052 | 0,053 | 0,042 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,170 | 0,320 | 0,480 | 0,620 | 0,750 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,042 | 0,042 | 0,063 | 0,053 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,220 | 0,330 | 0,450 | 0,600 | 0,720 |
| Desviación típica | 0,063 | 0,067 | 0,071 | 0,067 | 0,042 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,020 | 0,080 | 0,190 | 0,380 | 0,570 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,063 | 0,088 | 0,114 | 0,183 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,185 | 0,275 | 0,440 | 0,650 | 0,870 |
| Desviación típica | 0,034 | 0,042 | 0,052 | 0,071 | 0,042 |

Tabla A.12 Media y desviación típica de cada observador para la lámina (test) A12.

| LÁMINA: A12 | A12V50 | A12V100 | A12V200 | A12V300 | A12V400 |
|--------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Débora | | | | | |
| Media | 0,040 | 0,130 | 0,270 | 0,470 | 0,640 |
| Desviación típica | 0,045 | 0,095 | 0,125 | 0,125 | 0,158 |
| Pedro | | | | | |
| Media | 0,100 | 0,140 | 0,180 | 0,250 | 0,300 |
| Desviación típica | 0,000 | 0,052 | 0,042 | 0,053 | 0,047 |
| Jorge | | | | | |
| Media | 0,210 | 0,350 | 0,520 | 0,740 | 0,880 |
| Desviación típica | 0,032 | 0,053 | 0,079 | 0,070 | 0,042 |
| Juan Carlos | | | | | |
| Media | 0,170 | 0,300 | 0,460 | 0,620 | 0,740 |
| Desviación típica | 0,048 | 0,067 | 0,052 | 0,042 | 0,052 |
| María José | | | | | |
| Media | 0,170 | 0,300 | 0,470 | 0,620 | 0,730 |
| Desviación típica | 0,067 | 0,094 | 0,082 | 0,063 | 0,067 |
| Marta | | | | | |
| Media | 0,020 | 0,060 | 0,160 | 0,290 | 0,440 |
| Desviación típica | 0,042 | 0,070 | 0,070 | 0,088 | 0,108 |
| Raúl | | | | | |
| Media | 0,185 | 0,295 | 0,460 | 0,680 | 0,880 |
| Desviación típica | 0,041 | 0,037 | 0,070 | 0,092 | 0,063 |

VII Bibliografía

- AGOSTINI, T. & GALMONTE, A. 2000. Contrast and assimilation: the belongingness paradox. *Review of Psychology*, 7, 3-7.
- AGUILAR, M. 2002. *Hablemos de óptica*, Valencia, Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño.
- AGUILAR, M. & BLANCA, V. 1995. *Iluminación y color*, Valencia, Servicio Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia.
- AGUILAR, M. & MATEOS, F. 1996. *Óptica fisiológica. Tomo 3*, Valencia, Servicio de Publicaciones Universidad Politécnica de Valencia.
- AGUILAR, M. & URTUBIA, C. Direct and inverse contrast interaction in a periodic test viewing. *In: AIC*, ed. The 9th Congress of the Internacional Colour Association, 2001 Rochester, NY (USA).
- ALBERS, J. 1963. *Interaction of color*, New Haven and ; London, Yale University Press.
- ANDERSON, B. L. 1997. A theory of illusory lightness and transparency in monocular and binocular images: the role of contour junctions. *Perception*, 26, 419-453.
- ANDERSON, B. L. 2001. Contrasting theories of White's illusion. *Perception*, 30, 1499-1501.
- ANDERSON, B. L. 2003. Perceptual organization and White's illusion. *Perception*, 32, 269-284.
- ATKINSON, J. W. & MC, C. D. 1948. The projective expression of needs; the effect of different intensities of the hunger drive on thematic apperception. *J Exp Psychol*, 38, 643-58.
- BARKAN, Y., SPITZER, H. & EINAV, S. 2008. Brightness contrast-contrast induction model predicts assimilation and inverted assimilation effects. *Journal of Vision*, 8, 1-26.
- BECK, J. 1966. Perceptual grouping produced by changes in orientation and shape. *Science*, 154, 538-40.
- BEZOLD, W. V., KOEHLER, S. R. & PICKERING, E. C. 1876. *The theory of color in its relation to art and art-industry*, Boston, L. Prang and Co.
- BIMLER, D. L., KIRKLAND, J. & JAMESON, K. A. 2004. Quantifying variations in personal color spaces: Are there sex differences in color vision? *Color Research & Application*, 29, 128-134.
- BINDMAN, D. & CHUBB, C. 2004. Brightness assimilation in bullseye displays. *Vision Research*, 44, 309-319.
- BLAKESLEE, B. & MCCOURT, M. E. 1999. A multiscale spatial filtering account of the White effect, simultaneous brightness contrast and grating induction. *Vision Research*, 39, 4361-4377.

- BORING, E. G. 1942. *Sensation and perception in the history of experimental psychology*, New York, London, D. Appleton-Century Company.
- BRADLEY, D. R. & PETRY, H. M. 1977. Organizational determinants of subjective contour: the subjective Necker cube. *The American Journal of Psychology*, 90, 253-262.
- BRESSAN, P. 2001. Explaining lightness illusions. *Perception*, 30, 1031-1046.
- BRESSAN, P. 2006a. Inhomogeneous surrounds, conflicting frameworks, and the double-anchoring theory of lightness. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13, 22-32.
- BRESSAN, P. 2006b. The place of white in a world of grays: a double-anchoring theory of lightness perception. *Psychological Review*, 113, 526-553.
- BRESSAN, P. 2007. Dungeons, Gratings, and Black Rooms: A Defense of Double-Anchoring Theory and a Reply to Howe et al. *Psychological Review*, 114, 1111-1115.
- BRESSAN, P. & ACTIS-GROSSO, R. 2001. Simultaneous lightness contrast with double increments. *Perception*, 30, 889-897.
- BRESSAN, P. & ACTIS-GROSSO, R. 2006. Simultaneous lightness contrast on plain and articulated surrounds. *Perception*, 35, 445-452.
- BRESSAN, P. & KRAMER, P. 2008. Gating of remote effects on lightness. *Journal of Vision*, 8, 161-168.
- BRESSAN, P., MINGOLLA, E., SPILLMANN, L. & WATANABE, T. 1997. Neon color spreading: a review. *Perception*, 26, 1353-1366.
- BRUNER, J. S. & POSTMAN, L. 1948. Symbolic value as an organizing factor in perception. *J Soc Psychol*, 27, 203-8.
- CAO, D. & SHEVELL, S. K. 2005. Chromatic assimilation: spread light or neural mechanism? *Vision Research*, 45, 1031-1045.
- CASTILLO, I. J. 2005. *El sentido de la luz. Ideas, mitos y evolución de las artes y los espectáculos de luz hasta el cine*. Universitat de Barcelona.
- CHEVREUL, M. E. 1839. *De la loi du contraste simultané des couleurs*, Paris, Pitois-Levrault et ce.
- CLIFFORD, C. W., PEARSON, J., FORTE, J. D. & SPEHAR, B. 2003. Colour and luminance selectivity of spatial and temporal interactions in orientation perception. *Vision Research*, 43, 2885-93.
- CLULOW, F. W. 1972. *Colour: its principles and their applications*, London, Fountain.
- DAZA DE VALDÉS, B. 1623. *Uso de los anteojos*, Sevilla, Diego Perez.
- DE VALOIS, R. L. & DE VALOIS, K. K. 1988. *Spatial vision*, New York, Oxford University Press.
- DE WEERT, C. M. & SPILLMANN, L. 1995. Assimilation: asymmetry between brightness and darkness? *Vision Research*, 35, 1413-1419.

- DEVINCK, F., HARDY, J. L., DELAHUNT, P. B., SPILLMANN, L. & WERNER, J. S. 2006. Illusory spreading of watercolor. *Journal of Vision*, 6, 625-633.
- ECONOMOU, E., ANNAN, V. & GILCHRIST, A. 1998. Contrast depends on anchoring in perceptual groups. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 4, S857.
- ECONOMOU, E., ZDRAVKOVIC, S. & GILCHRIST, A. 2007. Anchoring versus spatial filtering accounts of simultaneous lightness contrast. *Journal of Vision*, 7, 2 1-15.
- EVANS, R. M. 1974. *The perception of color*, New York, Wiley.
- FELIPE MARCET, A. 1978. Comunicación interna Departamento de Óptica Universidad de Valencia.
- GIBSON, J. J. 1979. *The ecological approach to visual perception*, London, Houghton Mifflin.
- GILCHRIST, A., KOSSYFIDIS, C., BONATO, F., AGOSTINI, T., CATALIOTTI, J., LI, X., SPEHAR, B., ANNAN, V. & ECONOMOU, E. 1999. An anchoring theory of lightness perception. *Psychological Review*, 106, 795-834.
- GILCHRIST, A. L. 1994. *Lightness, brightness, and transparency*, Northvale, L. Erlbaum.
- GILCHRIST, A. L. 2006. *Seeing black and white*, Oxford, Oxford University Press.
- GILCHRIST, A. L. & ANNAN, V. 2002. Articulation effects in lightness: historical background and theoretical implications. *Perception*, 31, 141-50.
- GILCHRIST, A. L. & RADONJIC, A. 2009. Anchoring of lightness values by relative luminance and relative area. *Journal of Vision*, 9, 13 1-10.
- GILCHRIST, A. L. & RADONJIC, A. 2010. Functional frameworks of illumination revealed by probe disk technique. *Journal of Vision*, 10.
- GINDY, S. S. 1963. *Techniques for subjective colour measurement and their application to colour contrast phenomena*. PhD, University of London.
- GIRGUS, J. S. & COREN, S. 1982. Assimilation and contrast illusions: differences in plasticity. *Perception & Psychophysics*, 32, 555-561.
- GOLDSTEIN, E. B. 2002. *Sensation and perception*, Pacific Grove, Wadsworth-Thomson Learning.
- GOTO, T., UCHIYAMA, I., IMAI, A., TAKAHASHI, S., HANARI, T., NAKAMURA, S. & KOBARI, H. 2007. Assimilation and contrast in optical illusions. *Japanese Psychological Research*, 49, 33-44.
- HELSON, H. 1963. Studies of Anomalous Contrast and Assimilation. *Journal of the Optical Society of America*, 53, 179-184.
- HELSON, H. 1964. *Adaptation-level theory*, New York, Harper & Row.
- HELSON, H. 1987. The psychology of Gestalt. By Harry Helson, 1925. *The American Journal of Psychology*, 100, 537-66.

- HOWE, P. D. 2005. White's effect: removing the junctions but preserving the strength of the illusion. *Perception*, 34, 557-564.
- HURVICH, L. M. 1981. *Color vision*, Sunderland, Sinauer Associates.
- JAMESON, D. & HURVICH, L. M. 1989. Essay concerning color constancy. *Annual Review of Psychology*, 40, 1-22.
- KINGDOM, F. & MOULDEN, B. 1991. White's effect and assimilation. *Vision Research*, 31, 151-159.
- KINGDOM, F. & MOULDEN, B. 1992. A multi-channel approach to brightness coding. *Vision Research*, 32, 1565-1582.
- KINNEAR, P. R. & SAHRAIE, A. 2002. New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5-22 and for age decades 30-70. *The British Journal of Ophthalmology*, 86, 1408-11.
- KOFFKA, K. 1935. *Principles of gestalt psychology*, London, Routledge & Kegan Paul.
- LAMBERT, W. W., SOLOMON, R. L. & WATSON, P. D. 1949. Reinforcement and extinction as factors in size estimation. *J Exp Psychol*, 39, 637-41.
- LAND, E. H. & MCCANN, J. J. 1971. Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America*, 61, 1-11.
- LEEJUNBERG, E. 1982. The perception of assimilation and brightness contrast as derived from code theory. *Perception & Psychophysics*, 32, 345-352.
- MARTHUR, J. A. & MOULDEN, B. 1999. A two-dimensional model of brightness perception based on spatial filtering consistent with retinal processing. *Vision Research*, 39, 1199-1219.
- MONNIER, P. & SHEVELL, S. K. 2004. Chromatic induction from S-cone patterns. *Vision Research*, 44, 849-856.
- MOULDEN, B. & KINGDOM, F. 1989. White's effect: a dual mechanism. *Vision Research*, 29, 1245-1259.
- NAKAYAMA, K., SHIMOJO, S. & RAMACHANDRAN, V. S. 1990. Transparency: relation to depth, subjective contours, luminance, and neon color spreading. *Perception*, 19, 497-513.
- NEWHALL, S. M., NICKERSON, D. & JUDD, D. B. 1943. Final Report of the O.S.A. Subcommittee on the Spacing of the Munsell Colors. *Journal of the Optical Society of America*, 33, 385-411.
- NEWTON, I. 1704. *Opticks*, London, S. Smith & B. Walford.
- PAROLA, R. 1969. *Optical art: theory and practice*, New York, Reinhold Book Corp.
- PETERSON, M. A. & GIBSON, B. S. 1994. Object recognition contributions to figure-ground organization: operations on outlines and subjective contours. *Perception & Psychophysics*, 56, 551-564.

- PINNA, B., WERNER, J. S. & SPILLMANN, L. 2003. The watercolor effect: a new principle of grouping and figure-ground organization. *Vision Research*, 43, 43-52.
- REGAN, D., JENKIN, M. & HARRIS, L. 2006. *Seeing Spatial Form*, Oxford, Oxford University Press.
- RIPAMONTI, C. & GERBINO, W. 2001. Classical and inverted White's effects. *Perception*, 30, 467-488.
- ROBINSON, A. E., HAMMON, P. S. & DE SA, V. R. 2007. Explaining brightness illusions using spatial filtering and local response normalization. *Vision Research*, 47, 1631-1644.
- RONCHI, L. & FERRARA, G. 1963. On the characteristics of observers employed in visual research. *Atti della Fondazione Giorgio Ronchi*, 18, 203-219.
- RONCHI, V. 1952. *Storia Della Luce*, Bologna, Zanichelli.
- ROSS, W. D. & PESSOA, L. The selective integration neural network model of lightness perception. International Conference on Neural Networks, 1997. 356-361 vol.1.
- ROSS, W. D. & PESSOA, L. 2000. Lightness from contrast: a selective integration model. *Perception & Psychophysics*, 62, 1160-1181.
- RUBIN, E. 1921. *Visuell wahrgenommene Figuren: Studien in psychologischer Analyse*, Berlin, Gyldendalske Boghandel.
- SALMELA, V. R. & LAURINEN, P. I. 2009. Low-level features determine brightness in White's and Benary's illusions. *Vision Research*, 49, 682-90.
- TAYA, R., EHRENSTEIN, W. H. & CAVONIUS, C. R. 1995. Varying the strength of the Munker-White effect by stereoscopic viewing. *Perception*, 24, 685-694.
- URTUBIA, C. 2003. *El efecto expansión con una red cuadrada acromática en función de la luminancia y del tamaño*. Universitat de València.
- VAN LIER, R. & WAGEMANS, J. 1997. Perceptual grouping measured by color assimilation: regularity versus proximity. *Acta Psychologica*, 97, 37-70.
- WATANABE, T. & TAKEICHI, H. 1990. The relation between color spreading and illusory contours. *Perception & Psychophysics*, 47, 457-467.
- WERTHEIMER, M. 1912. *Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegung*, Leipzig, J.A. Barth.
- WERTHEIMER, M. 1925. *Drei abhandlungen zur gestalttheorie*, Erlangen, Philosophische Akademie.
- WHITE, M. 1979. A new effect of pattern on perceived lightness. *Perception*, 8, 413-416.
- WHITE, M. 1981. The effect of the nature of the surround on the perceived lightness of grey bars within square-wave test gratings. *Perception*, 10, 215-230.
- WHITE, M. 1982a. The assimilation-enhancing effect of a dotted surround upon a dotted test region. *Perception*, 11, 103-106.

- WHITE, M. 1982b. *The effect of pattern on perceived lightness*. Thesis (Ph D), University of Adelaide.
- WHITE, M. 2010. The early history of White's illusion. *Colour: Design & Creativity*, 7, 1-7.
- WHITE, M. & WHITE, T. 1985. Counterphase lightness induction. *Vision Research*, 25, 1331-1335.
- WRIGHT, W. D. 1969. *The measurement of colour*, London, Hilger.
- ZAIDI, Q., SPEHAR, B. & SHY, M. 1997. Induced effects of backgrounds and foregrounds in three-dimensional configurations: the role of T-junctions. *Perception*, 26, 395-408.