

QUE ES LA LUZ

Es fácil advertir, en nuestras experiencias, que sólo los influjos continuos en todas las partes del espacio pueden dirigir nuestro sentido de un objeto a otro; que la luz que juega entre nuestros ojos y los cuerpos del universo efectúa una comunidad mediata entre nosotros y esos cuerpos y así demuestra la simultaneidad de estos últimos.

Immanuel Kant.

Llamamos luz a la manifestación visual de una emisión energética. Es energía radiante porque hay un cuerpo que la emana, que puede ser natural (sol, fuego) o artificial (una lámpara). Es capaz de propagarse en cualquier medio (agua, aire, vacío) y viajar a través del espacio. Es intangible y sólo cuando entra en contacto con la materia puede ser percibida y medida por el ojo humano.

Para que la sensación de luz se produzca necesitamos:

- Una fuente emisora de radiaciones visibles al ojo humano.
- Un espectador o visualizador.
- Un elemento que refleje la luz.

La percepción lumínica proviene, entonces, del efecto producido por los tres elementos en su conjunto y varía en forma significativa si cualquiera de ellos se cambia o se altera levemente.

Tipos de luz

Luz natural

La luz natural es la obtenida a partir de fuentes lumínicas producidas por la naturaleza, tales como el sol, las estrellas, los rayos, el fuego y ciertas producciones físicas y químicas de origen animal, vegetal y mineral.

También comprende las superficies o medios reflejantes de luz natural, tales como la luna o la atmósfera, ya que su irradiación por reflexión es suficientemente importante como para que ambas sean consideradas fuentes de luz.

Dichas fuentes nos preceden y su conocimiento y control ha sido tema de nuestra evolución, tanto en el plano físico como en el simbólico. Cada cultura ha establecido pautas míticas, religiosas y astronómicas en torno a estos fenómenos.

La luz natural está en permanente cambio y variación. Sus cualidades se modifican en relación con el tiempo, el clima, las estaciones del año y el entorno geográfico.

Luz generada

La luz generada es la obtenida a partir de la producción artificial de radiaciones visibles. El propósito principal de un sistema de iluminación artificial es proveer luz suficiente para el cumplimiento de determinadas tareas.

Sin iluminación artificial la vida social, comercial y cultural quedaría virtualmente paralizada durante la noche. Su llegada permitió que la actividad laboral continuara después de finalizado el día, lo que la convierte en un típico producto de la Revolución industrial.

La luz generada cuenta con distintos sistemas de producción que obedecen a diversos principios técnicos y recursos tecnológicos. Nos permite lograr situaciones lumínicas selectivas y controladas, además simular las de luz natural.

Luz real

Es una denominación utilizada en el campo del arte para expresar la captación de la luz física presente en lugares concretos y en momentos precisos. La fotografía la utiliza para capturar el instante y el arte busca representarla cuando toma espacios reales e intenta capturarlos tal como los ve el ojo. Así, el pintor sale al aire libre y ofrece testimonio del fenómeno natural.

Los impresionistas se han caracterizado por trabajar en esa dirección, intentando representar en su pintura lo inaprensible de la luz. Ejemplo de ello son los cuadros de la catedral de Reims, que fue retratada por Monet en diversas horas del día.

Luz simulada

Cuando la luz representa simbólicamente un estado lumínico particular privilegiando su carga expresiva entramos en el terreno de la simulación.

En pintura hay varios casos de artistas plásticos que en sus telas no aluden a una situación de luz real, sino que utilizan un recurso lumínico para expresar las condiciones anímicas y emocionales que se proponen transmitir.

El pintor inglés William Turner, por ejemplo, exageraba los efectos lumínicos de sus pinturas hasta convertirlos en entes fantasmales. No se trata, entonces, de luz física, solar o artificial, sino de una sensación lumínica que funciona sólo en la conciencia interior del artista y que aspira a llevarnos más allá del mundo, a un ámbito sobrenatural o cargado de subjetividad, a un universo sin fronteras donde lo sólido, lo líquido y lo gaseoso tienen la misma presencia informe.

En teatro hablamos de luz simulada cuando los elementos escenográficos son pintados con el fin de producir un efecto lumínico particular.

Por ejemplo, telones pintados que reproducen telas, puertas, molduras o simulan elementos volumétricos.

LA PERCEPCION DE LA LUZ

Visibilidad y contraste

La luz, el ojo, la visión y la mirada

Decimos que vemos con los ojos, cuando en realidad nuestro sistema perceptivo es mucho más amplio, ya que comprende una gran cantidad de procesos a velocidades ínfimas que escapan a la sensación propia de la visualización. Cuando parpadeamos (sabemos que lo hacemos en forma continua) no sentimos que nuestra visión se corta de manera intermitente - a menos que nos concentremos en la situación-, sino que es parte de un proceso fisiológico del cual no tenemos habitual conciencia, y lo mismo sucede con todo el proceso visual.

Para que se produzca el proceso visual necesitamos un receptor, una fuente de luz y una superficie donde la luz se pueda reflejar.

Ubicándonos desde el receptor, para que exista visibilidad necesitaremos contar básicamente con un **contraste**, es decir, una diferencia o intervalo sensible que nos permita comparar y discriminar la entidad de al menos dos formas. A través del contraste diferenciamos lo claro de lo más claro, lo oscuro de lo más oscuro. Cuando experimentamos mayor o menor luminosidad, esta sensación será relativa y variará según el entorno visual en el que nos encontremos.

Desde Galeno (129-200) en adelante se siguió estudiando el sistema y la percepción visual, diversificándose su estudio en dos aspectos básicos: el **fisiológico** y el **psicológico**.

El fisiológico comprende lo que denominamos **visión**, los procesos físicos (ópticos, químicos y nerviosos) que “capturan” la sensación visual.

El psicológico comprende las construcciones culturales que influyen y modifican la visión fisiológica.

Nuestra visión emite datos de comparación de niveles de luz en el campo visual que luego los factores psicológicos interpretarán, generando lo que llamamos **mirada**, es decir, una visión cargada de subjetividad.

Fisiología de la visión

Para hablar del sistema visual y de cómo opera, debemos atender a un proceso sumamente complejo que resulta de tres etapas sucesivas:

1. Etapa óptica
2. Etapa química
3. Etapa neuronal

Las dos primeras etapas ocurren en el ojo. Comparando el funcionamiento del ojo humano con una cámara fotográfica, cuyo antecedente es la cámara oscura, encontramos que todos estos sistemas ópticos trabajan con el principio fundamental de la “captura” de luz. Los rayos de una fuente luminosa inciden sobre un objeto, que refleja parte de ellos en todas direcciones. Algunos de esos rayos reflejados llegan hasta el ojo, atravesando los distintos “sistemas ópticos” que los concentran en un punto en la retina, donde los fotorreceptores transforman la energía luminosa en “impulsos eléctricos”. Este proceso de transformación de la energía corresponde ya a la etapa química. Los impulsos eléctricos son transportados por las células nerviosas hasta el área visual y otras áreas del cerebro, dando lugar a la última etapa donde las neuronas procesan la información y permiten la **percepción de la imagen**.

1. Etapa óptica

El ojo es un globo más o menos esférico, de unos 2,5 cm. de diámetro, cubierto de una capa con una parte opaca llamada **esclerótica** y una parte transparente llamada **córnea**.

La **córnea** es la primera lente del ojo y asegura la mayor parte de la convergencia de los rayos luminosos. Absorbe los rayos ultravioleta tipo UVB y UVC y los infrarrojos tipo IRB e IRC. Es la responsable del 70% de la refracción de la luz incidente.

Tras la córnea se encuentra el **iris**, músculo que actúa de modo reflejo. Tiene en su centro una abertura circular cuyo diámetro va de 2 a 8 mm, llamada **pupila**.

La **pupila** realiza un control de la cantidad de luz que ingresa. Se dilata para dejar penetrar más luz cuando ésta es poco intensa y se contrae ante un incremento del nivel de luz.

La disminución de la pupila modifica además la percepción en términos de profundidad de campo.

Cuanto más cerrada esté la pupila, mayor será la profundidad de campo. Por esta razón se ve más nítidamente cuando hay gran cantidad de luz, ya que la abertura es muy pequeña.

El tamaño de la pupila puede cambiar espontáneamente de acuerdo a estados emocionales o por efecto de psicotrópicos.

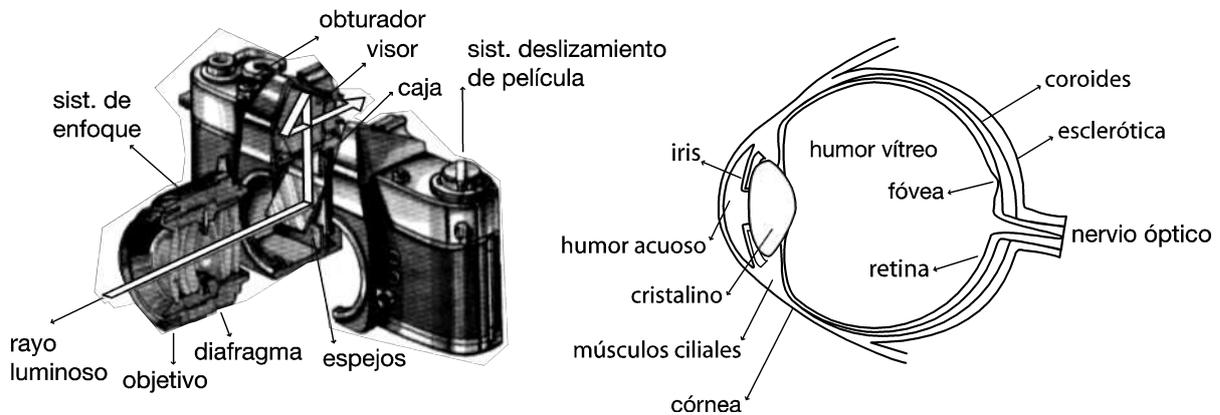
Luego de atravesar la pupila, la luz llega al **crystalino**.

El **crystalino** es la segunda lente del ojo. Absorbe los rayos ultravioletas tipo UVA. Es el responsable del 30% de la refracción restante. Ópticamente es una lente biconvexa de convergencia variable, con capacidad de estrechar o agrandar su espesor. Es la encargada de “acomodar”, es decir de enfocar la imagen a mayor o menor distancia, modificando su forma en función de la distancia de la fuente de luz, aumentando o disminuyendo su convergencia, para lograr que la luz incida en la retina. El proceso de acomodación del cristalino es bastante lento, ya que necesita casi un segundo para pasar de un objeto próximo a otro más lejano, o viceversa.

Los **humores vítreo y acuoso** permiten la nutrición del ojo y mantienen su forma. En ellos pueden aparecer partículas que provoquen dispersión de la luz, disminuyendo la calidad de la imagen retiniana.

El fondo del ojo está recubierto por una membrana, la **retina**, donde comienza la etapa química.

Tanto en la retina como en la cámara fotográfica, la imagen que llega es la real pero invertida y disminuida.



Comparación entre el ojo y una cámara fotográfica

Cámara	ojo
Objetivo	córnea y cristalino
Diafragma	iris - pupila
Sistema de enfoque	cristalino
Película sensible	retina

2. Etapa química

En la **retina** se forma la **imagen retiniana**. Así se denomina la proyección óptica obtenida en el fondo del ojo. Es allí donde se produce el primer procesamiento de la información. La retina absorbe parte de los rayos infrarrojos tipo IRA, llegando entonces sólo luz visible (380 a 780 nm.).

En la retina se encuentran los fotorreceptores que reciben las señales luminosas, las convierten en señales eléctricas y las envían al cerebro. Los fotorreceptores se dividen en **conos** y **bastones**, denominados así por

su morfología. Son receptores que contienen moléculas de pigmento con una sustancia, la rodopsina, que absorbe cuantos luminosos y se descompone por reacción química.

Cada vez que ocurre esto la molécula ya no puede absorber nada más hasta que se recompone. Por el contrario, si se deja de enviarle luz, la reacción se invierte y la rodopsina se recompone.

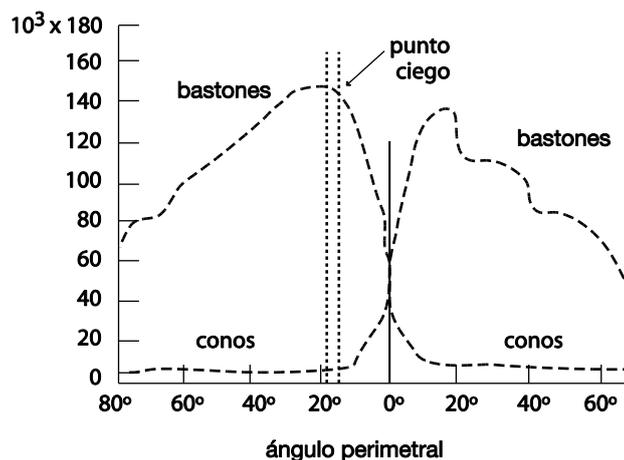
La imagen retiniana, entonces, activa el funcionamiento químico de los fotorreceptores, quienes se enlazan con células nerviosas responsables de transformar los cambios químicos en señales eléctricas, pasando a la etapa neuronal.

Los conos y bastones tienen funciones diferenciadas ya que tienen diferentes sensibilidades absolutas a la luz y distinta distribución en la retina.

Los bastones presentes en la retina (alrededor de 120 millones) son de mayor sensibilidad a la luz y permiten la visión nocturna.

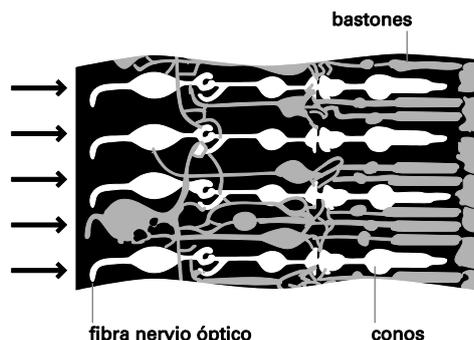
Los conos (alrededor de 7 millones) son menos sensibles a la luz por lo que requieren de luz día o de buena luz artificial para su activación. Se dividen en tres tipos, cada uno con diferente sensibilidad espectral para cada longitud de onda, y se los denomina de “onda larga, media o corta”, cubriendo así todo el espectro visible.

En cuanto a su distribución dentro de la retina, los conos están concentrados en una pequeña área central llamada fovea, donde se encuentra el eje visual del ojo, y disminuyen notablemente hacia la periferia. Los bastones están ausentes en la fovea y alcanzan su concentración máxima alrededor de los 20° desde la fovea, en la denominada periferia.



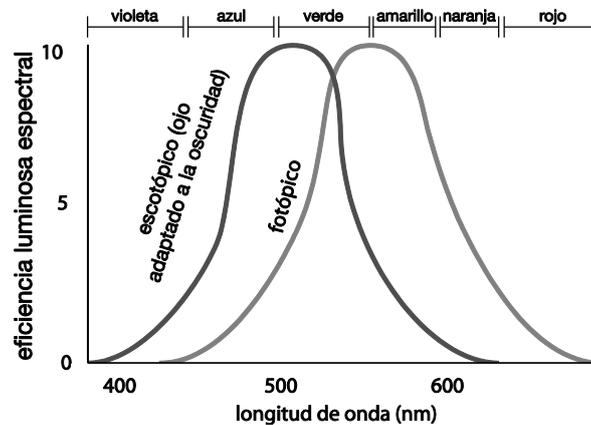
Esta variación en concentración de los conos y bastones con respecto a la fovea se amplifica por la cantidad de fotorreceptores conectados a cada fibra óptica nerviosa. En la fovea, la relación de fotorreceptores con las fibras nerviosas es casi de uno a uno pero aumenta rápidamente a medida que el apartamiento de la fovea se incrementa.

El efecto neto de esta estructura es proveer una fina discriminación de detalles, lograda por los conos. El resto de la retina está destinada primariamente a detectar cambios de movimiento y de iluminancias en el medio visual que requieran la atención de la fovea, eso se denomina visión periférica y es lograda por los bastones.



Los fotorreceptores -conos y bastones- tienen diferentes sensibilidades espectrales absolutas, siendo el pico de sensibilidad de los bastones de mayor longitud de onda que el de los conos.

El pico de sensibilidad de los conos ocurre para los 555 nm, mientras que el de los bastones ocurre a los 507 nm. Esto significa que la sensibilidad del ojo humano no es uniforme en el espectro visible. La curva graficada de la derecha, correspondiente a los conos, es la correspondiente al ojo en condiciones claras de iluminación. En cambio la curva de la izquierda que corresponde a los bastones es la del ojo adaptado a la oscuridad. A este corrimiento se lo denomina **efecto Purkinge**.



Esquema de la sensibilidad espectral de los conos

3. Etapa neuronal

En esta última etapa, los receptores retinianos (conos y bastones) se enlazan con células nerviosas. Cada una de estas células a su vez se relaciona mediante la sinapsis con otras células que constituyen el nervio óptico. A esto se suman múltiples enlaces transversales que agrupan las células en redes. El nervio óptico sale del ojo y termina en una región lateral del cerebro, el cuerpo geniculado, del que salen nuevas conexiones nerviosas hacia la parte posterior del cerebro, para llegar al córtex estriado, donde suponemos se elabora conceptualmente todo lo que se percibe.

Esta parte del sistema perceptivo es, por su complejidad, la menos conocida. La sinapsis entre neuronas no es un simple enlace sino que tiene un papel activo excitando o inhibiendo la percepción visual. Se podría hablar metafóricamente de una similitud con la señal eléctrica de tipo relé. Este sistema es afectado por los factores psicológicos que estructuran nuestra percepción y que son determinantes en la construcción de la imagen y su sentido.

Básicamente el ojo reacciona a las radiaciones luminosas. Una mínima base lumínica sirve para experimentar la sensación de luz. Cuando esta radiación aumenta es mayor el número de células afectadas, se descompone mayor cantidad de rodopsina y la señal luminosa se hace más intensa y más clara.

Aquí actúan los sistemas neuronales de conectividad de tipo excitador (que estimula la conexión con los enlaces subsiguientes) y del tipo inhibitor (que bloquean la actividad de los enlaces posteriores).

En el nervio óptico las células “excitadoras” que responden a estados de estimulación permanentes están ubicadas principalmente en la fovea, produciendo las imágenes nítidas. Las células que responden a estímulos cambiantes son producto de estados de estimulación transitorios, generando la visión “periférica”, de baja nitidez. Estas células “transitorias”, ubicadas fuera del área foveal, pueden funcionar como inhibitoras de las “permanentes”.

Estos estímulos excitadores e inhibitoros se combinan en el córtex estriado, donde las células, organizadas en columnas correspondientes a cada región de la retina, y luego agrupadas en hipercolumnas, orientadas según una dirección en el espacio, combinan su información distinguiendo los estímulos nítidos de los difusos, y están especialmente funcionalizadas para la detección de bordes y contornos, que es la base de nuestro sistema constitutivo de la forma.

Desde la anatomía, dos son los sistemas paralelos que permiten la percepción visual humana, muy independientes entre sí, cuyos nombres derivan de las capas de cerebro en las cuales se encuentran.

El sistema **magnocelular** se encuentra en todos los mamíferos y se ocupa del análisis de la forma, el movimiento y la profundidad. El sistema **parvocelular** aparece en los primates y se ocupa de la habilidad de detectar detalles finos y de la percepción del color.

La información de la retina es enviada primariamente a los sectores del cerebro encargados del proceso de la visión, pero adicionalmente existen otros cinco pasos tomados por esas fibras. Relacionado con el tema de la salud, tal vez el paso más interesante para nosotros sea el que conduce al **núcleo supraquiasmático**. Esta región del hipotálamo controla el comportamiento y los procesos psicológicos que varían durante el ciclo día-noche. Una entrada desde la retina sincroniza su actividad.

En síntesis, nuestro sistema visual obra por “construcción”. La imagen retiniana se reconstruye a través del complejo proceso neuronal reconociendo determinados “perceptos”, unidades elementales de nuestra percepción de objetos y espacios, tales como un borde, una línea, un segmento, un ángulo. Nuestro sistema visual está más equipado para detectar cambios de intensidades lumínicas que para mensurar las intensidades lumínicas. Actúa por comparación, relacionando la luminosidad de una superficie con la de su entorno luminoso.

Combinando la percepción lumínica con la de bordes visuales puede detectar mínimos intervalos sensibles que le permiten definir la forma de los objetos.

Fenómenos espaciales y temporales relacionados con la visión

Nuestra percepción estereoscópica (a través de dos ojos) nos permite tener una percepción visual con sentido espacial, que a la vez es afectada considerablemente por el factor tiempo.

Nuestros ojos están en movimiento constante haciendo variar la información recibida por el sistema visual. Los estímulos visuales pueden producirse sucesivamente o variar su duración.

La percepción no se produce instantáneamente, el tratamiento de la información se hace en el tiempo mediante procesos rápidos en algunos casos (los receptores retinianos reaccionan en menos de un milésimo de segundo cuando están descansados) y en otros más lentos (entre la estimulación del receptor y la excitación del córtex pasan al menos de 50 a 150 milésimas de segundo).

Ante una variación brutal de niveles de luz el ojo puede volverse “ciego” durante cierto tiempo, porque su tiempo de recuperación (sobre todo en lo que atañe la reconstitución de la rodopsina) es lento.

Adaptación

El sistema visual puede operar sobre un rango de luz que va desde una luminancia de 10^{-6} cd/m² a 106 cd/m², desde el nivel de luz de una estrella hasta la luz del sol más intensa. Pero este rango no se cubre simultáneamente sino pasando de un punto al otro a través de un proceso que se denomina adaptación. El sistema visual puede cubrir un rango de 2 o 3 unidades de luminancia.

Los valores de luminancia por encima de este rango limitado se consideran como claridad deslumbrante y aquellas por debajo se consideran como oscuridad no diferenciada.

Las capacidades del sistema visual dependen de cuál es el rango completo en el cuál está adaptado.

Se identifican tres rangos funcionales diferentes de visión:

1- *Fotópica*: modo de visión correspondiente a la luz diurna. Visión muy aguda de color y detalle, basado en la sensibilización de los conos.

2 – *Mesópica*: modo de visión intermedia con bajo nivel lumínico, bajo nivel de detalle y de discriminación de color.

3 – *Escotópica*: modo de visión nocturna. Predomina la sensibilización de bastones. No hay percepción de color.

	cd/m ²	fotorreceptor	capacidades
fotópico	> 3	conos	visión de color buena discriminación de detalles
mesópico	< 3 y > 0,001	conos bastones	visión de color disminuída reducida discriminación de detalles corrimiento en la sensibilidad espectral
escotópico	< 0,001	bastones	sin visión de color pobre discriminación de detalles

El sistema visual ajusta continuamente su estado de adaptación a través de los tres mecanismos mencionados: neuronal, fotoquímico y mecánico. Los tres difieren en velocidad y rango de ajuste.

El mecanismo neuronal, basado en la retina, opera en milisegundos, involucra la expansión y contracción de la pupila y sus cambios de tamaño toman segundos. Los mecanismos fotoquímicos son lentos, cada cambio insume varios minutos. El tiempo exacto dependerá de los niveles de luz del comienzo y del final del proceso. Si ambos son mayores de 3 cd/m², solamente los conos estarán involucrados. Ya que la constante de tiempo para los conos es del orden de 2 a 3 minutos, la adaptación toma solamente unos pocos minutos. Cuando la iluminancia inicial está en el rango de los conos y la final en el rango de operación de los bastones, ocurre un proceso de adaptación de dos estados, involucrando ambos fotorreceptores. Como los bastones tienen una constante de tiempo de alrededor de 7 a 8 minutos, el tiempo de adaptación es mucho mayor. La adaptación completa a partir de una luminancia fotópica alta a la oscuridad puede tomar alrededor de una hora.

Captación sincrónica

La percepción visual tiende a percibir los fenómenos luminosos como sincrónicos, a menos que estén suficientemente distantes en el tiempo. Se necesitan al menos de 60 a 80 milésimas de segundo para percibirlos separados. Del mismo modo, más rápido de 6 a 8 destellos por segundo, los estímulos luminosos se perciben como continuados y no como sucesos diferenciados.

Persistencia retiniana

Se denomina ***persistencia retiniana*** a la prolongación de la actividad de los receptores una vez finalizado el estímulo. Esta duración es mayor cuanto más adaptado está el ojo a la oscuridad, es decir, cuanto más descansado está. Es un tipo de respuesta lenta del sistema visual.

Un ejemplo de persistencia retiniana es el producido al girar una antorcha o una barra de modo circular, donde no se perciben las distintas posiciones sucesivas sino un círculo completo.

Centelleo (flickering)

Cuando al sistema visual se lo expone a variaciones de luz periódica de frecuencia superior a unos pocos ciclos por segundo se produce una sensación de deslumbramiento que llamamos ***centelleo***. En cine se produce cuando la velocidad de proyección es demasiado lenta.

Cuando aumenta la frecuencia de las apariciones de la luz este efecto desaparece y la percepción de la luz entonces es continua. A esta frecuencia la llamamos ***crítica*** y su valor depende de la intensidad luminosa del estímulo: para intensidades medias es del orden de los 10 Hz, pero llega a los 1000 Hz con intensidades elevadas.

La percepción del color

Nuestra percepción del color está condicionada fuertemente al proceso de absorción de luz visible a través de los pigmentos existentes en los conos.

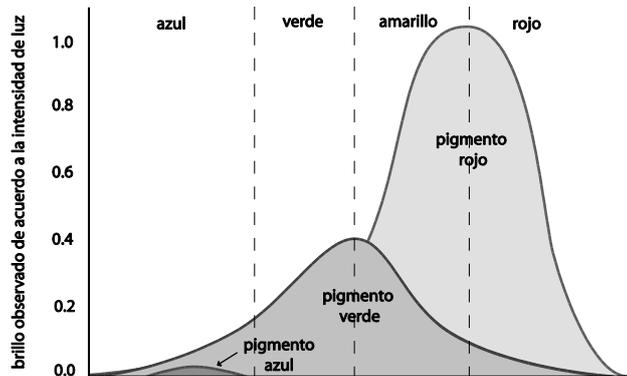
La visión de color es posible gracias a que los conos tienen diferente sensibilidad según la longitud de onda de la energía fotónica que los estimula.

La sensibilidad máxima es a la luz amarilla.

El cono R tiene su ápice sensible en el rojo-naranja, el cono G en el verde-amarillento y el cono B en el azul.

Las sensibilidades de cada uno se superponen parcialmente.

Para cada señal o flujo luminoso se produce algún tipo de respuesta por parte de los tres tipos de conos, estimulándose más un tipo que otro. Esa respuesta permite la percepción de un color en particular. Los conos requieren de una cierta intensidad lumínica para operar. Los bastones, por el contrario, requieren un nivel de luz muy bajo para activarse. De allí que objetos que sabemos de color se perciban grises a baja intensidad lumínica.



La respuesta de los tres conos a la luz incidente: el cono R (pigmento R) tiene máxima sensibilidad en el rojo-naranja, el cono G (pigmento G) al verde amarillento y el cono B (pigmento B) en la franja azul del espectro visible. La sensibilidad de los tres se solapa y el color percibido se debe a la respuesta relativa de los tres conos. (Brillo observado de acuerdo a la intensidad de la luz)

Tricolorimetría - Sistemas aditivo y sustractivo

Tomando como modelo nuestro sistema visual convenimos en nombrar como **primarios** de la luz a aquellos colores ápicos de sensibilidad de cada tipo de conos (rojo-verde-azul). Sumando los espectros de cada color obtenemos el “blanco”.

A esta operación la denominamos **adición**.

Los sistemas de producción lumínica y de video utilizan esta operación para lograr, por sumatoria de fuentes de luz de color, la mayoría de los colores del espectro.

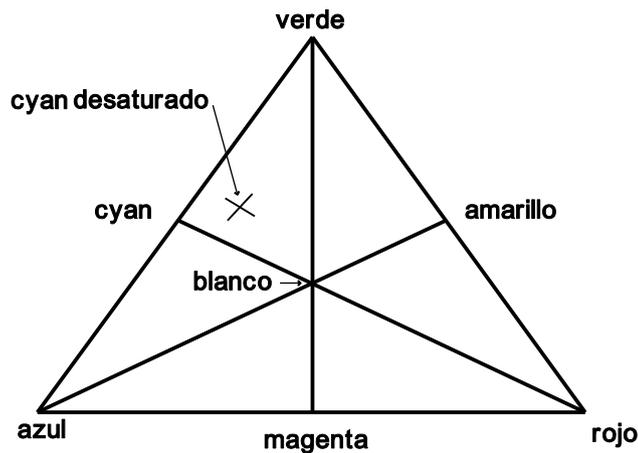
Por **adición** de dos primarios obtenemos los que denominamos colores **secundarios**:

- Magenta por la adición de azul y rojo
- Cian por la adición de azul y verde
- Amarillo por la adición de rojo y verde

Partiendo del blanco, y filtrando a una luz mediante un color, y luego filtrando nuevamente ese producto se van obteniendo colores por **sustracción**.

Para lograr la mayor cantidad posible de colores por este método partimos de los **secundarios** de la luz (cian, magenta, amarillo).

Con esta operación de **sustracción** trabajan los sistemas robotizados de cambios de color y los de impresión gráfica. Nuestras computadoras manejan sistemas de color CMY (cian, magenta, amarillo) en sus cartuchos, y a partir de ellos obtener una cantidad importante de colores.

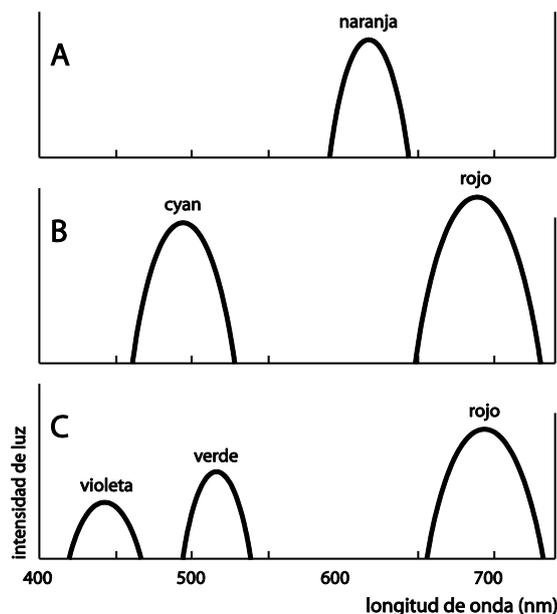


El triángulo de color atribuido a James Clerk Maxwell. En los ápices están los colores primarios y en el punto medio de sus lados, los colores sustractivos. No todos los colores pueden ser representados como mezcla de los tres colores luz. Cuanto más cercano esté el punto a un ápice, más alta es la proporción de luz del color representado en ese ápice (adaptado por H Rossotti, Princeton 1983)

Metamerismo

A diferencia de la percepción sonora, que puede distinguir, por ejemplo, un sonido de violín en una orquesta y conceptualizarlo separadamente, el ojo humano no puede percibir cómo está constituido cada color, sino que sólo tiene conciencia de la apariencia total. De allí que nuestra manera de arribar visualmente a un determinado color se concrete por distintos caminos o combinatorias, sin que no demos cuenta. A este efecto se lo denomina **metamerismo**, y nos permite construir el mismo color visual a través de mezclas muy diferentes entre sí.

El primer ejemplo que podemos dar de **metamerismo** es precisamente el blanco obtenido a partir de una fuente de luz, o de los tres primarios, o los tres secundarios.



Diferentes maneras de obtener colores metaméricos de luz naranja rosado. Cada cuadro implica un camino para obtener haces de luz metaméricos: A) mediante un filtro rosa-naranjado más luz blanca; B) sumando rojo con cyan mediante dos fuentes de luz; o C) sumando rojo, verde y violeta desde 3 fuentes de luz. El ojo va a percibir el mismo color de luz en cada haz al ser reflejado. (Tomado de Nassau, *The Physics and Chemistry of Color*, (Wiley, New York, 1983)).

Las apariencias de las formas en relación a la luz

Percepción de la luz

La percepción visual

“Cada uno ve lo que sabe”

Bruno Munari

En general, salvo casos particulares, las propiedades físicas del mundo son independientes de nuestra mirada.

Digamos que existe una constancia perceptiva (tamaño, orientaciones de las formas, propiedades de las superficies, etc.).

Nuestra percepción realiza un escaneo continuo mediante la alternancia de movimientos oculares y cortas fijaciones, del cual no tenemos conciencia.

Nuestra idea de percepción es la de una escena continua y panorámica, y en cada punto podemos hacer una observación detallada. Incluso no registramos el uso de dos imágenes convergentes (una de cada ojo) sino de una sola y con sensación espacial.

Esta constancia de la percepción sólo se explica admitiendo que la percepción visual activa un “saber” sobre la realidad visible.

Estamos condicionados por nuestra simetría y las leyes físicas que nos rigen: la gravedad nos señala permanentemente el eje vertical y el horizontal; nuestra tridimensionalidad relaciona el avance de nuestro cuerpo en el espacio y nos da relaciones de profundidad. Objetos más distantes los vemos más pequeños pero “conocemos” su similaridad y entonces decimos que son iguales aún viéndose distintos. Nuestro “saber perceptivo” es, por un lado genético y además cultural, dependiendo de nuestro medio y entorno.

La imagen como representación

La imagen que capta nuestra retina es una simple representación, invertida, disminuida y plana, de las luminancias de las diversas superficies reflejantes de la escena visualizada. Es un estadio del tratamiento de la información luminosa que tiene gran distancia con el objeto real, del que podemos decir que no “vemos” nunca su “imagen retiniana”. En la antigüedad ya se había hecho uso de la geometría proyectiva y las leyes de la óptica geométrica monocular para relacionar objeto e imagen.

El carácter inicial plano de la imagen es contrarrestado por “indicadores espaciales” que nos brindan información relativa a la percepción tridimensional (gradación de tamaño, gradiente de textura, posición en el plano de la imagen, superposición, variación gradual de niveles de iluminación, perspectiva, etc).

Delimitación y sensibilización del espacio

Nuestra percepción es a través del contraste, es decir, percibimos diferencias o intervalos sensibles.

Además es dinámica. Incluso cuando nos desplazamos jamás perdemos idea de continuidad: objetos más cercanos parecen moverse más rápido y dan información sobre esa distancia. Cuando nos desplazamos ante un objeto, a éste se lo percibe como único a pesar de su continuo cambio de imagen. Relacionamos el objeto al entorno, que lo interpretamos como fijo a pesar de poder tratarse de un sistema móvil (de hecho, vivimos en un sistema móvil – la tierra- que percibimos como estático), brindándonos puntos fijos de referencia. Si el objeto se mueve, cuanto más grande es resulta más difícil percibir su movimiento. Cuanto más elevado es el nivel de luz o de contraste, mejor se percibe el movimiento. La mayoría de los efectos visuales se producen porque las células, al ser estimuladas durante un largo período, continúan su función aún después de finalizada la estimulación. Esto nos hace percibir efectos de color y también percibir como movimiento al revés un no movimiento. Sirva como ejemplo el caso de dos trenes estacionados en un andén. Cuando uno de ellos arranca el viajero que va en él percibe al otro tren como si se estuviera moviendo en sentido contrario, cuando en realidad está detenido.

El cerebro tiene células especializadas en funciones tales como la percepción de los bordes, de las líneas y de los movimientos direccionales.

Si por alguna razón el sistema visual no tiene todos los elementos necesarios para interpretar lo que ve, optará por “inventar” una respuesta a no dar ninguna.

Cuando fijamos la mirada en un punto nos encontramos con una percepción central de detalle y un campo periférico que, sin estar enfocado, completa el campo visual. A medida que variamos el punto de atención, nuestra referencia periférica es conceptualmente la misma, de modo de dar unidad al campo espacial percibido.

Determinación y generación de espacios y formas a través de la luz

Cuando observamos una escena durante un cierto tiempo su visualización resulta de una integración de exploraciones sucesivas sin orden determinado.

Esta situación nos permite provocar “estímulos” o centros de interés de primera visualización.

Cuando un espacio o un objeto nos llama visualmente la atención por convertirse en un centro de interés, se dice que tiene “pregnancia visual”.

Existen “formas pregnantes”. Son aquellas que, por su natural morfología, tienden a llamarnos la atención. En general responden a principios psicológicos estudiados por la gestalt (psicología de la forma), que establece una serie de leyes de observación que se cumplen en el hombre occidental.

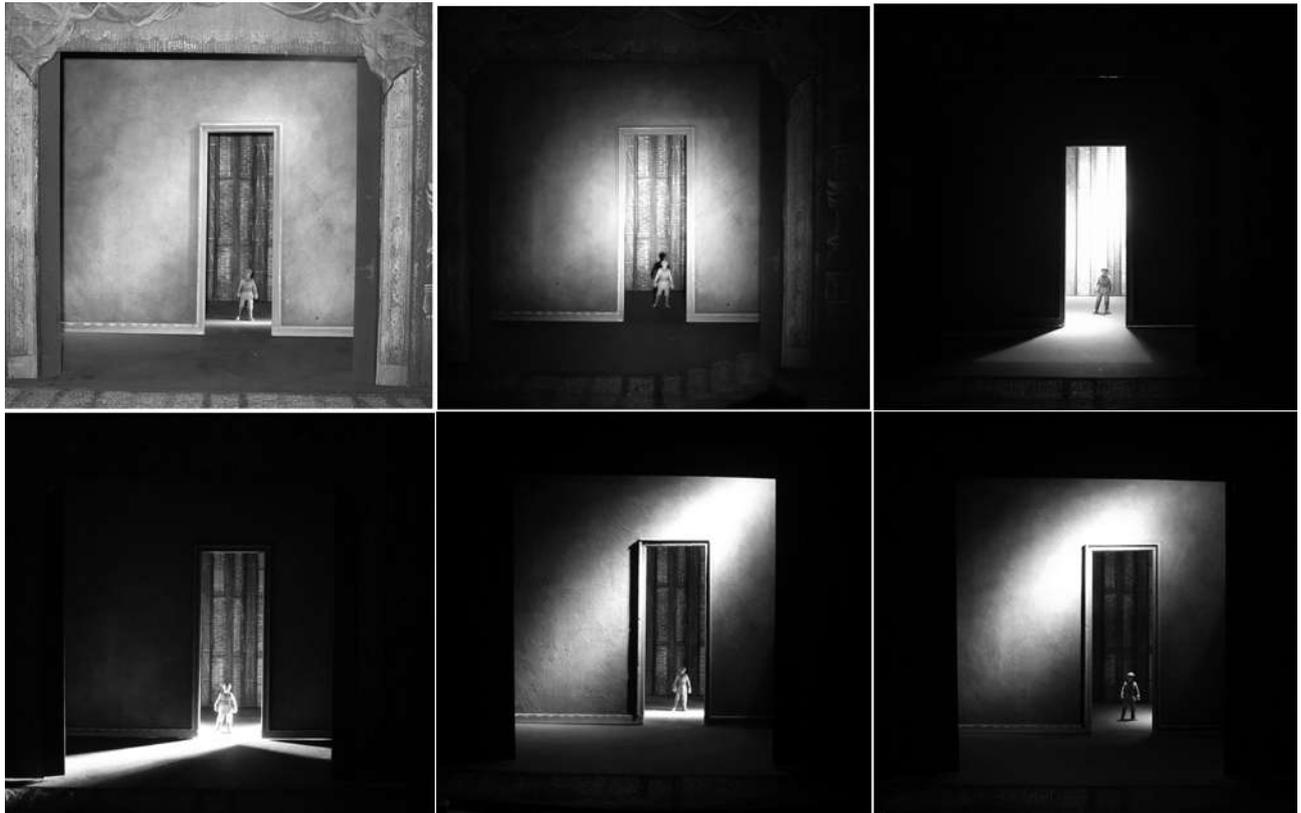
Generalmente las formas geométricas simples (círculos, triángulos, cuadrados) o espaciales son pregnantes. También lo son aquellas fuertemente condicionadas por nuestra cultura (caso de letras, palabras o números, que pueden ser leídas aún invertidas o rotadas).

Pero quien juega un rol determinante en la “pregnancia visual” es la luz incidiendo en el espacio y las formas, su posición, distribución, intensidad y color, que nos da una “lectura” discriminada del objeto y modifica sustancialmente su percepción. Con la luz se puede lograr una lectura más o menos compleja de la forma. Un objeto volumétrico, como por ejemplo una esfera, puede realzar o aplanar totalmente su volumen de acuerdo a la orientación de la fuente de luz que incide sobre el objeto.



Un espacio mostrará condiciones particulares de habitabilidad, dimensiones, forma y belleza según como la luz incida sobre él.

En las maquetas espaciales de la página siguiente mostramos cómo la posición y distribución de la luz inciden en la lectura del espacio, modificando sus características dimensionales (parece más pequeño o más amplio), su carácter (claro, penumbroso, sombrío), su forma.



Criterios de composición espacial

La composición en el espacio tiene las mismas características que la composición bidimensional. Nuestros referentes son siempre el plano vertical y el plano horizontal. Para nuestra percepción un campo homogéneo (por ejemplo, un rectángulo o un cuadrado) presenta grados de interés distintos al insertarle una figura. Una misma forma adquiere diferente peso compositivo según se ubique arriba, abajo, a derecha o a izquierda, o en su centro. Nuestro sentido de la gravedad y nuestro orden de lectura organiza nuestra percepción, creando zonas en donde las formas adquieren mayor peso compositivo por su simple posición. Un elemento colocado a cierta altura siempre nos llama más la atención que otro en piso, que es nuestro plano de reposo. Comenzamos a leer de izquierda a derecha, por lo cual arriba derecha es siempre nuestra primera visualización en un plano homogéneo.

El otro factor de suma importancia desde el punto de vista compositivo es el **contraste**.

Podemos determinar desde la luz espacios de carácter homogéneo, generando espacios de mínimo contraste, crear en el espacio centros de interés, recurriendo a contrastes lumínicos puntuales, o hacer lecturas graduales del espacio, trabajando con leves variaciones de intensidades. La luz puede permitir construir, fragmentar o vincular situaciones espaciales.

Los dibujos de Adolphe Appia y Gordon Craig que se reproducen en la página siguiente muestran distintas escenas definidas mediante haces de luz que generan una lectura expresiva del espacio. Es importante dar cuenta de la importancia de la presencia de la sombra tanto como del plano de luz para sensibilizar el espacio. A través de la proyección de luces y sombras podemos quebrar o reforzar criterios de simetría espacial (Fig. 2, Fig.3, Fig.4, Fig.8) reforzar la pregnancia visual en el plano inferior o superior (Fig. 1, 3, 4, 6 y 7) o reforzar criterios de profundidad espacial (Fig. 1 y 5).

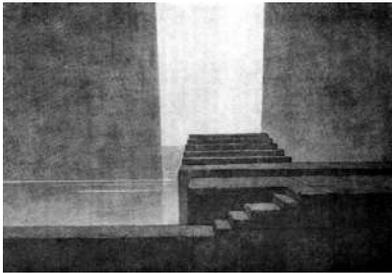


Fig 1

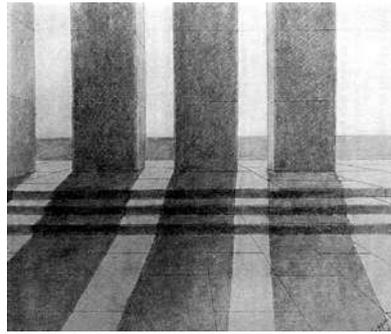


Fig 2

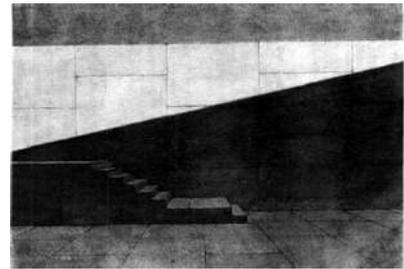


Fig 3

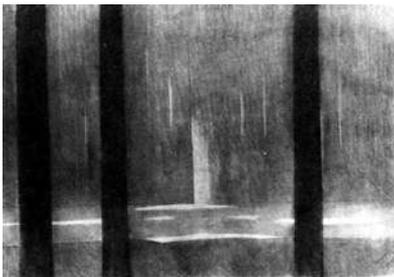


Fig 4

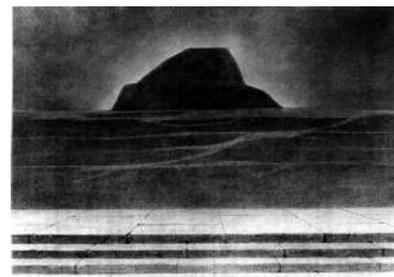


Fig 5

Arriba: Dibujos de Adolphe Appia (figs. 1 a 5)
Abajo: Dibujos de Gordon Craig (figs. 6 a 8)

Fig 6



Fig 7



Fig 8



El espacio dentro del espacio – lo vacío y lo lleno

**“Aquel que conoce el blanco
pero sobrevive en negro
es la medida del mundo”
Lao Tse (“Tao Te King”, #28)**

Cuando estamos en un espacio oscuro, sin luz, perdemos total noción de tiempo y espacio. Nuestra mente genera proyecciones fantásticas de nuestro mundo interior. Los otros sentidos (tacto, olfato, oído) se aguzan en procura de una sensación.

Dijo Goethe: *“Un espacio que consideremos vacío tiene la cualidad de la transparencia. Si ese espacio se llena con luz de modo de no saber que es lo que lo llena, ese “lleno” se percibe como una sustancia material, gaseosa, líquida o sólida. La pura translucencia surge de lo transparente. La opacidad completa es blanca, es el lleno del espacio mas liviano, indiferente, no transparente. La misma transparencia, vista empíricamente, es ya el primer grado de opacidad. Los grados sucesivos de opacidad, desde el blanco no transparente, son infinitos”.* (De Farbenlehre, 1810).

Cualquier tipo de luz penetrando un espacio lo llena, lo califica, lo significa de un modo particular. El más mínimo resplandor da una forma al espacio, establece sus límites. La luz en un espacio adquiere materialidad, se lee como sustancia, tiene cuerpo, forma, densidad, en relación a ese oscuro original espacio vacío.

El espacio dentro del espacio – lo exterior y lo interior

Un mismo espacio puede ser leído como un espacio “exterior” o “interior”, según donde se ubique el sujeto perceptor. Esta ubicación puede ser significativa y no real. Lo exterior tiene límites que nuestra percepción no determina. Cuando iluminamos a un actor con una luz que se concentra en un área pequeña y bien delimitada, y el resto del espacio a oscuras, estamos definiendo dos espacios: el de la luz y de la acción, que se nos representa interior, y el “exterior”, que es el entorno oscuro, que se significa por contraste con el definido a través de la luz.

Cuando a un espacio delimitado por paredes se le introducen una o varias aberturas automáticamente define un interior y un exterior, sugerido y percibido a través de ese hueco, iluminado o no. Una puerta abierta nos relata la existencia de esos dos espacios: la luz puede definir a cualquiera de ellos o a ambos, pero aún siendo iluminados de la misma forma su calidad perceptual es diferente por su propia condición espacial. Además las calidades del espacio “exterior” influyen en el “interior” y viceversa, en una estrecha interrelación.



Four walls, de John Cage, coreografía de Roxana Grinstein. Dis. Luces: Eli Sirlin. 1994.

El espacio dentro del espacio – lo cóncavo y lo convexo

Desde el punto de vista espacial, un volumen puede ser leído desde su interior o desde su exterior. Una forma leída por un receptor desde su interior muestra su calidad de concavidad: es hueca en su interior y su límite o contorno es definido, aún siendo abierto y no totalmente completo.

Cuando a esa misma forma la percibimos desde afuera, su forma se nos muestra convexa. Una escultura o un edificio visto desde el exterior son formas convexas según nuestra percepción, y por eso su modelación es distinta de la de las formas cóncavas, penetrables. Las formas convexas pueden a través de la luz realzar su contorno y su forma espacial, o achatarse en una visión bidimensional, según la dirección y posición de las fuentes de luz que incidan sobre ellas.

En cambio, una forma cóncava se puede leer como un espacio vacío, ocultando sus límites, o delimitarlo, pero en general no pierde su condición formal de espacio tridimensional.

Hay casos particulares de espacios cóncavos tratados para leerse sólidos.

Una experiencia de James Turrell en el Museo de Arte Contemporáneo de Frankfurt trabaja con nuestra percepción sugiriendo la existencia de un plano liso de color en el fondo de una habitación oscura. A medida que nuestro ojo va acomodándose al nivel de luz del espacio, el plano va modificando su apariencia de color, manifestándose siempre plano.

Cuando uno llega hasta la pared contenedora del plano, sigue con la misma percepción, que se quiebra cuando uno intenta tocar ese “plano” coloreado y la mano lo atraviesa. El sentido del tacto descubre que el “lleno plano” es en realidad un gran hueco sin límites visibles.

Esta sensación es la misma que a veces tenemos en una ventana donde se visualiza el cielo sin nubes, donde no tenemos límites perceptibles del “otro espacio exterior”. La presencia de la luz intensa plana y pareja sin detección de bordes “solidifica” el espacio y construye un lleno sobre un vacío.

Turrell ha diseñado diversas instalaciones denominadas “skyspaces”, donde regula mediante cambios de color en la luz artificial dirigida alrededor de un hueco del techo, cómo es percibido el entorno exterior recortado en una forma cuadrada, rectangular o circular en sintaxis con esas alteraciones de color de luz artificial, y son instalaciones activas al amanecer o al atardecer, cuando la luz del cielo experimenta cambios significativos durante aproximadamente unos 50 minutos.

Un recurso arquitectónico que utilicé varias veces fue embutir en un cielorraso campanas gigantes, con forma de media esfera, pintadas con pintura fluorescente e iluminadas desde su centro con una lámpara que emitía, además de luz blanca, una intensa radiación ultravioleta.

Esto provocaba un efecto fluorescente en el interior de cada campana. De lejos las campanas se leían como discos planos de color, y recién cuando uno veía la fuente de luz podía “construir” la forma espacial cóncava real del objeto pintado.



Showcenter Arcade. Dis. Luces: Eli Sirlin.



James Turrell. Skyspace Above horizon, 2001.

Luz, sombra y penumbra

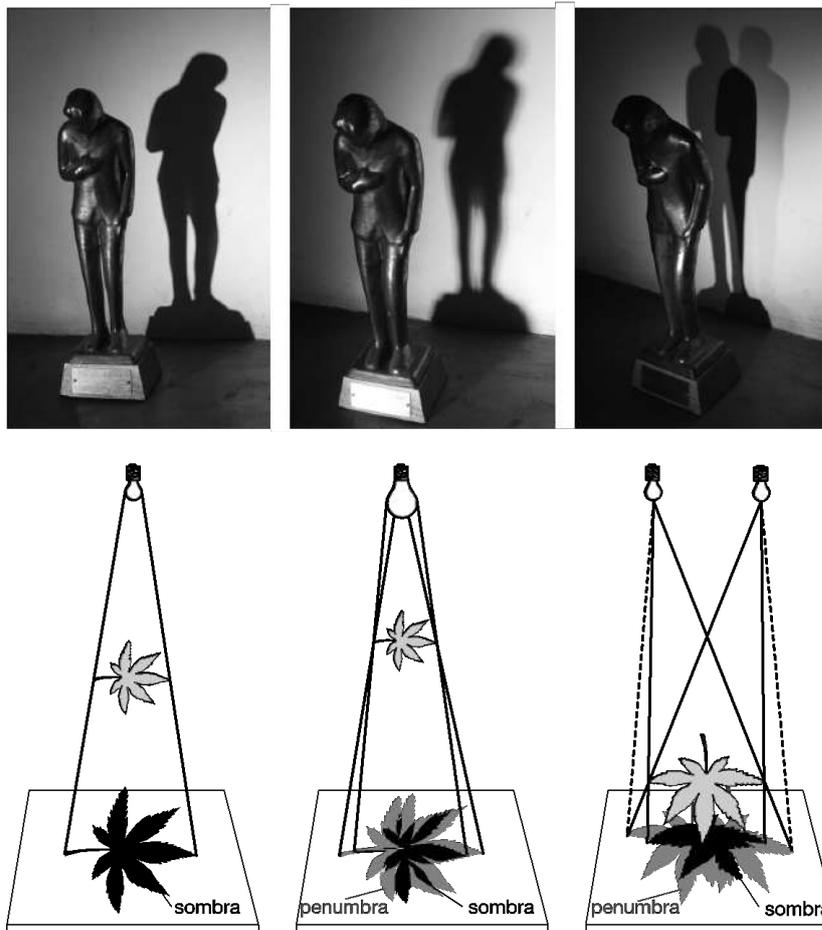
Toda aparición de luz supone la existencia de una sombra, definida como la ausencia de luz, total o parcial. Nuestro ojo discrimina por contraste zonas de ausencia y presencia de luz, delimita y refuerza sus bordes perceptibles, sean éstos difusos o definidos.

La ausencia total de luz es la sombra propiamente dicha.

Si la luz proveniente de una fuente luminosa muy pequeña se interrumpe por un obstáculo opaco, se forma una sombra bien definida.

Si la fuente no es muy pequeña respecto del obstáculo, el borde de la sombra no será nítido, reconociéndose una zona más oscura: sombra; y otra más suave: penumbra.

La penumbra también se visualiza cuando un mismo objeto es iluminado por varias fuentes de luz, apenas distanciadas, en la misma dirección.



Para la obtención de sombras y penumbras entonces son necesarios:

- Al menos una fuente de luz
- Un objeto o persona a ser iluminado
- Una pantalla donde incida la luz provocando la sombra
- Un espectador que lo perciba

Esto significa que las distintas sombras y penumbras que puedan obtenerse, siempre serán en función de las características individuales de cada uno de estos elementos y de la interacción entre ellos.

Es decir, si la fuente de luz es extensa o concentrada, si la pantalla se encuentra más o menos alejada de ésta, si los objetos son pequeños o grandes, opacos o translúcidos, todos estos parámetros serán definitorios en la formación de sombras y penumbras.

Factores fenomenológicos que afectan a la percepción: visibilidad, agudeza visual, deslumbramiento, confort visual

Estos factores fenomenológicos comprenden capacidades o dificultades del perceptor para individualizar de manera eficaz los objetos a percibir.

La **visibilidad** es la cualidad de un objeto de ser percibido por el ojo. Más específicamente describe la habilidad del perceptor para distinguir detalles críticos de un objeto contra su entorno con rapidez y precisión.

La **agudeza visual** es la habilidad del perceptor para distinguir detalles finos. Esta habilidad depende de la visión foveal y se va perdiendo con la edad.

Hay cinco factores que afectan tanto la visibilidad como la agudeza visual:

- *El tamaño del objeto a ser percibido*

Cuanto más grande es percibido el objeto más fácil percibir detalles y visualizarlo con facilidad. El tamaño no implica una condición física sino una relación entre tamaño y distancia al observador (una pelota de 15cm a 2 metros se percibirá mejor que otra de 2m a 1km de distancia).

- *La luminancia (cantidad de luz que incide sobre el objeto).*

Si una superficie refleja luz en forma parejamente difusa, más fácil será su total visualización. Además cuanto más poder de reflexión tenga su superficie, mejorará la agudeza visual. Esto significa que las superficies brillantes tienen más dificultades en ser percibidas que las superficies opacas, aún teniendo más poder de reflexión, debido a que la misma no es pareja.

- *El contraste entre el objeto y su entorno.*

Este ítem está directamente relacionado con la reflectancia de cada elemento. Un objeto claro sobre un entorno oscuro, o viceversa, será fácilmente identificable. Una página blanca con letras negras produce un nivel de contraste máximo para su visualización. Sin embargo para una indicación ferroviaria se utiliza el contraste amarillo-negro, de lectura más rápida que el blanco-negro. Si un libro se escribiera en páginas color gris oscuro, su legibilidad sería mucho menor.

- *El tiempo de exposición del objeto a nuestra percepción.*

El ojo tiene un retardo temporal entre el proceso fotoquímico de la retina y la construcción de la imagen en el cerebro a través de los impulsos eléctricos recibidos. Dando un tiempo suficiente de percepción a la imagen todos los detalles pueden ser percibidos. Cuando el objeto es veloz o la fuente de luz incidente aparece y desaparece rápidamente, se pierden tanto visibilidad como la agudeza visual.

- *El color del objeto y el color del entorno.*

El contraste de color es factor decisivo en la percepción de las formas. No importa si la mayor claridad o brillo pertenece a objeto o entorno, lo importante es la diferencia.

Además determinados colores tienen más visibilidad que otros, o sugieren que las formas están más cerca o más alejadas de nosotros. Los colores cálidos tienden a acercar los objetos en relación a los fríos. Los colores más saturados tienen mayor visibilidad comparada a igualdad de luminancia o brillo.

El **deslumbramiento** se define como la molestia provocada por la reducción de la visibilidad.

Generalmente es originado por exceso de luminosidad de una superficie o por exposición de la propia fuente de luz. Si al iluminar un objeto iluminamos también al perceptor de manera directa, éste sufrirá el efecto del deslumbramiento. Perderá la visualización del objeto y es posible que lo ciegue momentáneamente.

En muchos casos una fuente de luz no incide directamente sobre el perceptor, pero él la visualiza tanto como el objeto, provocando también una alteración en la apreciación visual. Pasa muy frecuentemente en las luminarias que quedan visibles en el espacio teatral. A veces llaman tanto o más la atención por su molestia que por lo que sucede en el piso escénico. Determinados materiales brillantes tales como espejos o superficies altamente reflejantes deben ser cuidadosamente estudiadas en su relación a las fuentes de luz, para evitar provocar por reflexión efectos de deslumbramiento en el espectador.

De igual manera en aplicaciones de arquitectura, una ubicación inadecuada de una fuente de luz puede provocar brillos en monitores de computadoras que impidan su visualización.

Un tema importante para evitar este efecto es analizar cuidadosamente los ángulos de incidencia de las fuentes de luz en relación al receptor.

Una vez provocado el deslumbramiento y su desaparición, el sistema perceptivo tiene un importante tiempo de readaptación para lograr estabilizar el sistema. Este tiempo va a depender de la intensidad del efecto.

Para el **confort visual** existen dos parámetros a considerar en relación a la luz: su cantidad y su calidad. La cantidad es relativa a los umbrales de visibilidad. Ya vimos que para que nuestro sistema perceptivo funcione necesitamos al menos una mínima cantidad de luz. Para que podamos percibir color, aún más. El rango de los niveles de visibilidad depende también del contraste del entorno.

El exceso tampoco es adecuado para el confort visual.

En relación a la realización de tareas específicas (por ejemplo, leer, coser, pintar, escribir, etc.) existen niveles mínimo y máximos de luminancia que deben ser respetados en función del confort visual.

La textura, la intensidad de las sombras y penumbras, el color, el brillo de una superficie pueden mejorar o perjudicar el confort visual de determinado entorno.

Una emisión lumínica difusa provoca una sensación totalmente diferente a una emisión totalmente focalizada, con puntos de alta claridad y oscuridad. En este último caso el ojo recorre el espacio ampliando y reduciendo la pupila para controlar el nivel lumínico cambiante. En una puesta teatral puede ser un efecto interesante, pero si estamos en una oficina durante seis horas nuestra fatiga visual por excesivo ejercicio muscular del ojo nos va a agotar, y a largo plazo, hacer perder nuestra capacidad visual. Cuando miramos televisión, la intensidad de emisión de la pantalla, si estamos en un entorno oscuro, nos puede provocar fatiga visual. Por eso se recomienda siempre dejar alguna luz suave encendida en el entorno, para favorecer el confort visual.