|  |  |
| --- | --- |
|  | **Tecnología del PC** |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| [**http://www.zator.com/Hardware/images/aUp.gifSubir**](http://www.zator.com/Hardware/H9.htm) | **9.1   Física del Color****§1** **Presentación****Podría parecer que los aspectos teóricos de la luz, en cuanto a energía electromagnética, interesan poco o nada al informático o al que tiene que habérselas con un programa de edición gráfica o de retoque fotográfico.  Sin embargo, en este, como en otros ámbitos de la técnica, resultan de inestimable ayuda un cierto vocabulario y un mínimo "Background" sobre los principios físicos involucrados.  Por ejemplo, le ayudarán a entender que significa exactamente el canal alfa, o que ocurre cuando se copia una imagen semitransparente sobre un fondo coloreado.****§2  La Luz****Lo que conocemos como "luz", es nuestra percepción de la radiación electromagnética (EM) que es captada por el ojo y trasladada por el nervio óptico hasta el cerebro, donde crea una mezcla de sensaciones que son las "imágenes" que "vemos".  Esta sensación es cualitativa,  matiz o coloración (*colourfulness*); saturación (cuanto color de cada matiz), y cuantitativa, brillo (*brightness*); cuanta luz.  Como veremos a continuación, la sensación producida por esta radiación dista mucho de ser uniforme y objetiva (igual para todas las personas).  Además, la sensación luminosa de una imagen se ve influenciada grandemente por las condiciones ambientales.****Nota:  Isaac Newton dijo:  "*Indeed rays, properly expressed, are not coloured*".  En realidad, la radiación electromagnética no es de colores; estos (los colores) solo existen en nuestro cerebro.****§3** **Aspectos fundamentales de la radiación EM****La radiación electromagnética es una variación periódica de los campos eléctrico y magnético del éter.  Esta variación (perturbación) tiene la propiedad de transportar energía y dos características fundamentales: su velocidad de propagación, y su frecuencia.****Según la física clásica, la radiación electromagnética se propaga a una velocidad constante de 2.9979 108 m/s. Es lo que conocemos como "velocidad de la luz".  Este valor es una constante de la naturaleza y es costumbre designarla c.****La frecuencia F es el número de cambios (ciclos) en unidad de tiempo (segundo). Se mide en ciclos/segundo, también denominados Herzios (abreviadamente Hz), en recuerdo del físico que la descubrió [[1](http://www.zator.com/Hardware/H9_1.htm%22%20%5Cl%20%22%5B1%5D)], de modo que****F = ciclos/seg. =  Hz****Al espacio recorrido por la onda en un ciclo se le denomina longitud de onda (la representaremos por L).  Como el espacio recorrido en la unidad de tiempo (1 segundo) es constante (aproximadamente 300.000 Km), y en este tiempo hay F ciclos, la longitud de cada ciclo es aproximadamente de 300.000 / F (el resultado en Km/ciclo).**

|  |
| --- |
| **http://www.zator.com/Hardware/Images_esp/F9-1-1.gif****Fig. 1** |

**Existe una relación directa entre la longitud de onda y su frecuencia, por lo que resultan magnitudes equivalentes, y es indistinto referirse a una radiación señalando su frecuencia o su longitud de onda, ya que conociendo una puede deducirse fácilmente la otra mediante las fórmulas:****L =  c / F      <==>      F = c / L****Por ejemplo:  La longitud de onda 400 nm (nanometros http://www.zator.com/Hardware/images/Ico_hoja.gif[E1.7.1](http://www.zator.com/Cpp/E1_7_1.htm)) corresponde a la frecuencia:****F =  2.9979 108 /  400 10-9  =  7.49474 108  MHz****§4  El espectro electromagnético****La radiación electromagnética existe en un rango extraordinariamente amplio de frecuencias, que se conoce como espectro electromagnético.  El ojo humano es capaz de "ver" la radiación cuya longitud de onda está comprendida en un margen de 310-330 nm aproximadamente.  Son las radiaciones que se extienden desde la longitud de onda de 400 nm (que percibimos como violeta) y la de 700 nm (que percibimos como luz roja).  Por encima y por debajo están respectivamente las radiaciones infrarrojas y ultravioletas que no son ya perceptibles por el ojo humano, aunque sí por algunos animales (serpientes e insectos especialmente).****Nota: la energía que recibimos del Sol en forma de radiación electromagnética, está en su mayor parte en el rango de 2x10-7 a 4x10-6 metros de longitud de onda.****La radiación electromagnética va mucho más allá del infrarrojo y el ultravioleta.  Dependiendo de su longitud de onda, recibe diversos nombres; desde rayos gamma a ondas de radio largas, pasando por la que denominamos "Luz"; los rayos X, las ondas utilizadas por TV y radiodifusión de onda corta, larga, FM etc; aunque es importante no perder de vista que en todos los casos se trata del mismo fenómeno físico: una perturbación del campo magnético y eléctrico del éter.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Long de onda (m)** | **Nombre** | **Uso** |
| **10-15 / 10-11****Tamaño del núcleo del átomo** | **Rayos Gamma** | **Tratamiento del cáncer** |
| **10-10Tamaño del átomo** | **Rayos-X** | **Comprobación de materiales;  Uso médico.** |
| **10-8 (10-400 nm)** | **Ultravioleta** | **Germicida,  Luz negra, Bronceado** |
| **10-6 (400-700 nm)Diámetro de una bacteria** | **Zona visible del espectro**  | **Óptica** |
| **10-4 / 10-6** | **Infrarrojo** | **Radiación del cuerpo humano. Calentar** |
| **10-2Tamaño de un ratón** | **Microondas** | **Hornos de microondas, relojes atómicos. UHF** |
| **100Tamaño del hombre** | **.** | **Radiodifusión de onda corta; FM; Radar y TV.** |
| **103Tamaño de un pueblo** | **Radio frecuencia (RF)** | **Radiodifusón de onda media AM.** |
| **106Tamaño de un país** | **Audio frecuencias** | **Radiodifusión de onda larga** |

**Cuanto menor es la longitud de onda de la radiación,  las estructuras con las que puede interactuar son menores, y su energía es mayor.  En este sentido, las radiaciones gamma, cuya longitud de onda es del orden de magnitud del núcleo del átomo, son más energéticas que las ondas de radio difusión (AM), cuyo tamaño es de centenares de metros, y la luz violeta de 400 nm es más energética que la roja de 700 nm.** **Nota: dentro del espectro visible, la energía portada por los fotones oscila entre 0.5 eV para el infrarrojo y 2.9 eV para el ultravioleta [2].  Por ejemplo, la luz roja tiene una energía de 1.7 eV aproximadamente, mientras que en la luz azul es de 2.7 eV.****El efecto de las radiaciones electromagnéticas depende de su longitud de onda.  En la tabla adjunta se muestra un resumen de sus propiedades.****La distribución cromática de la luz solar es aproximadamente igual para todas las frecuencias del espectro visible, es la denominada "luz día".  En cambio, la distribución de otras fuentes luminosas artificiales, como lámparas de tungsteno (incandescentes) o de neón (fluorescentes), es asimétrica; tienen preponderancia ciertos colores frente a otros.  Es la llamada "luz artificial" de la que existen varios tipos.** **En la página adjunta se incluyen algunos comentarios sobre las radiaciones EM utilizadas en comunicación (http://www.zator.com/Hardware/images/Ico_hojaNw.gif H9.1w1).****§5** **Percepción humana del color****Como hemos señalado, el ojo humano solo es sensible a un estrecha gama de frecuencias de espectro electromagnético (aproximadamente 4.2-7.5 1014 Hz ).  Entre ambas longitudes de onda percibimos los diferentes colores del arco iris, el denominado espectro visible, que es una ínfima parte del total del espectro.  Las longitudes de onda de los  colores principales son aproximadamente las siguientes:**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Violeta** |  | **400-440 nm** | **Amarillo** |  | **530-590 nm** |
| **Azul** |  | **440-480 nm** | **Naranja** |  | **590-630 nm** |
| **Verde** |  | **480-530 nm** | **Rojo** |  | **630-700 nm** |

**La percepción de la luz y el color se rige por mecanismos extraordinariamente complejos y ricos en detalles en los que el ojo en sí mismo no es un mero captador de señales que se envían al cerebro, sino un dispositivo capaz de pre-procesar la señal recibida.  La retina del ojo humano tiene cuatro tipos de células sensibles a la luz.  Tres de ellas, las denominadas conos, tienen distintas sensibilidades a las radiaciones del espectro, e intervienen en la visión normal (fotópica) y en la percepción de los colores.  El cuarto tipo de células, los bastones, son extraordinariamente sensibles a la luz de intensidad muy baja, y colaboran a la visión en semi-oscuridad (en la denominada visión nocturna o escotópica), pero no tienen influencia en la formación de imágenes en condiciones normales de iluminación.  Existen unos 6 millones de conos y 100 millones de bastones en cada ojo, aunque su distribución no es uniforme.  La mayor concentración se produce en la mácula, que es la zona donde percibimos mayor finura en los detalles.****Aunque la sensibilidad a la luz varía de una persona a otra, en el espectro de frecuencias visibles tenemos una gran capacidad de discriminación (en este rango podemos distinguir unos 10 millones de colores distintos).  El ojo humano es más sensible a la luz verde/amarilla que a rojos y azules (la sensibilidad al amarillo es de orden de seis veces mayor que al azul).  Coloquialmente decimos que el azul tiene una pequeña contribución a la sensación de brillo, mientras que el amarillo la tiene alta (esto lo saben bien los pintores).  Sin embargo, el ojo humano tiene más capacidad para distinguir matices en los colores azules que en los amarillos.  En realidad el ojo tiene una mayor sensibilidad cromática para los colores extremos del espectro (especialmente rojos, azules y morados), de forma que tiene más capacidad para distinguir diferencias de color en estos que en los centrales, sin embargo estos últimos (verdes y amarillos) tienen valores máximos de saturación, es decir, son percibidos como más brillantes y luminosos.****Aparte de esta distinta sensibilidad para los diferentes colores, la resolución monocromática del ojo es mucho mayor que la cromática.  Dicho en otras palabras:  podemos distinguir mucho mejor diferencias de tono en la escala de grises que entre escalas de color.  Además, cuando los detalles se van haciendo más y más pequeños el ojo deja de poder detectar las diferencias de color, llegando un punto en que se vuelve virtualmente ciego para los colores, aunque aún puede distinguir diferencias de brillo.  Parece que esto se debe a los bastones a los que nos referíamos antes.****Un aspecto curioso de la percepción humana de la luz es la no linealidad de la respuesta del ojo a las variaciones de luminosidad (luminancia http://www.zator.com/Hardware/images/Ico_hoja.gif[H9.1.1](http://www.zator.com/Hardware/H9_1_1.htm%22%20%5Cl%20%22Luminancia) ), o dicho en otras palabras, la sensibilidad humana a sus variaciones no es lineal, sino prácticamente logarítmica.  Esto explica que la luminosidad aparente de un objeto que tenga el 50% de la luminosidad real otro, no se percibe como la mitad de luminoso.  De hecho basta una reducción del 18% de la luminosidad entre dos objetos para que la luminosidad aparente de uno parezca la mitad del otro.****Nota:  observará el lector que en este párrafo hemos utilizado dos conceptos:  La luminosidad real (una magnitud física) y la aparente (la percepción que tenemos de esa magnitud).  Estos conceptos son explicados con más detalle en la página siguiente (http://www.zator.com/Hardware/images/Internet3.gif  [H.9.1.1](http://www.zator.com/Hardware/H9_1_1.htm))****Los sicólogos creen que la señal transmitida por el nervio óptico no depende el número de fotones de diferentes frecuencias que alcancen los conos de la retina, sino más bien de la relación entre estas cantidades.  Esto significaría que el ojo no codifica la luminancia sino el contraste, y explica que una fotografía vista en condiciones de mucha y poca luz, parezca igual, a pesar de la diferencia de luz que refleja en cada caso.  En consecuencia, las tecnologías de reproducción deben prestar más importancia a las diferencias (de color e intensidad) que a los valores absolutos.  Otra consecuencia es que la sensación de realidad de una imagen está más influida por una adecuada gradación de tonos o colores (profundidad de color utilizada) que por la definición.**

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

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

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

 |

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

 |

 |

**Ejemplo: los cuadrados centrales de ambos lados del dibujo son exactamente iguales.  Observe como la luminosidad aparente varía en cada caso según la luminosidad del contorno.  Esto explica por ejemplo, que la pantalla de nuestro ordenador parezca gris cuando está apagada, pero algunas zonas nos parecen negras cuando está en funcionamiento a pesar de que en ese momento tienen "ausencia de luz" (el mismo color que cuando está apagada).****Parece que la causa de esta sensibilidad no lineal a la luminancia, radica en una especie de integración mental del color y la luminosidad de la escena; teniendo en cuenta que la luminosidad se refiere tanto a la existente en el área focal (central) como a la visión periférica.  La consecuencia es que por ejemplo, la percepción de la luminosidad y el contraste en un monitor (que son controlados por el factor gamma http://www.zator.com/Hardware/images/Ico_hoja.gif[H9.5](http://www.zator.com/Hardware/H9_5.htm)), depende no solo de los datos en la memoria de imagen ("Frame buffer"), de las características físicas del tubo y del mecanismo de transferencia.  También depende de la luz que incida sobre la pantalla (que depende de la iluminación del local); de la luz y color del fondo (background de la aplicación) e incluso de la luz ambiente (alrededor de la pantalla, mesa de trabajo, fondo, etc).****La diferente sensibilidad cromática del ojo, unida a su sensibilidad (no lineal) a la intensidad de la luz recibida, hacen que sea difícil arbitrar medidas lumínicas que tengan correspondencia con la sensación humana.  Cuando se hicieron evidentes las especiales características de la percepción humana del color y la luz, se decidió crear una organización que estudiase un modelo humano universal (estadístico).  Al efecto se creó la CIE ("Commission Internationale de L'Eclairage"), que como veremos a continuación, ha elaborado definiciones y magnitudes relativas a la percepción humana de la radiación en el espectro visible.****§6  Webografía*** **International Color Consortium  http://www.zator.com/Hardware/images/Internet3.gif  [www.color.org](http://www.color.org)**

**El propósito de esta organización es promover el uso y la adopción de plataformas independientes y universales para el manejo del color.  El sitio contiene documentos interesantes ("White Papers").  En especial una presentación: "ICC slide presentación", disponible en formato PDF o PowerPoint ofrece una introducción muy didáctica a la problemática del manejo informático de los colores.*** **Ryley Quarles  http://www.zator.com/Hardware/images/Internet3.gif  [www.humboldt.edu/~rq1/](http://www.humboldt.edu/~rq1/)**

**Este sitio mantenido por el autor, de la universidad californiana de Humbolt, contiene interesante información sobre el color.*** **Poynton's Color FAQ  http://www.zator.com/Hardware/images/Internet3.gif   [www.inforamp.net/~poynton/ColorFAQ.html](http://www.inforamp.net/~poynton/ColorFAQ.html)**

**Este sitio contiene información muy técnica sobre colorimetría y otros aspectos físicos del color.*** **Algunas preguntas y respuestas (FAQ) sobre el color http://www.zator.com/Hardware/images/Internet3.gif  [www.gusgsm.com/faqcolor/inicio.html](http://www.gusgsm.com/faqcolor/inicio.html)**

**Magnífica introducción, en español y con estupendas figuras, sobre los aspectos básicos de la física del color en forma de preguntas y respuestas.  Su autor,  Stephen Westland, es especialista en el estudio del color; profesor de Ciencia del Color en la Escuela de Diseño de la Universidad de Leeds (Gran Bretaña), y director de la firma Colour Ware Ltd.****[http://www.zator.com/Hardware/images/arrow_btt.gif  Inicio.](http://www.zator.com/Hardware/H9_1.htm%22%20%5Cl%20%22TOP)****[1]  Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894).  Físico alemán descubridor de las ondas electromagnéticas (Hertzianas).  Sus descubrimientos permitieron posteriormente a Marconi la invención de la radio.****[2]  Los fotones son la menor cantidad (cuanto) de luz que puede existir (se les puede considerar como "partículas" de luz).  eV  (electrón-Voltio), es la energía ganada por un electrón (carga eléctrica negativa unitaria) cuando pasa por un campo eléctrico de 1 Voltio.****[http://www.zator.com/Hardware/images/arrow_btt.gif  Inicio](http://www.zator.com/Hardware/H9_1.htm%22%20%5Cl%20%22TOP)** |