

# Jornadas de Automática

## Filtrado de luz azul con mínima distorsión para vídeo

Juan Bayón<sup>a,\*</sup>, Joaquín Recas<sup>a</sup>, Jonathan J. Jiménez<sup>a</sup>, María Guijarro<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Universidad Complutense de Madrid. Campus de Ciudad Universitaria. Av. Complutense, s/n, Moncloa - Aravaca, 28040 Madrid, España.

**To cite this article:** Bayón, J., Recas, J., Jiménez, J., Guijarro, M. 2024. Blue light filtering with minimal distortion for video. *Jornadas de Automática*, 45. <https://doi.org/10.17979/ja-cea.2024.45.10771>

### Resumen

La luz azul presente en los dispositivos móviles tienen una función reguladora del organismo en procesos como el sueño o el hambre. Además, la exposición directa está asociada con el desarrollo o empeoramiento de ciertas enfermedades y para las personas con alguna afección específica puede resultar molesta y peligrosa. Muchos dispositivos del mercado poseen sistemas de filtrado para atajar esta situación, pero modifican significativamente la mayoría de colores. Este trabajo propone un nuevo procedimiento para reducir la representación de color o Gamut de la pantalla correspondiente a las emisiones más energéticas, para poder evitarlas. El resultado llega a absorciones del 100 %, respetando el contraste, la calidad y la mayor parte de colores de la imagen, consiguiendo un resultado lo más realista posible. La propuesta se considera de interés para su aplicación en tiempo real en dispositivos de proyección de vídeo, como por ejemplo los dispositivos de realidad aumentada y virtual.

*Palabras clave:* Filtrado y suavizado, Diseño de observadores adaptativos, Estimación y filtrado, Control adaptativo, Diseño analítico, Implementación digital, Observadores no lineales y diseño de filtros.

### Blue light filtering with minimal distortion for video

#### Abstract

The blue light present in mobile and wearable devices has a regulatory function in the human body, in processes such as sleep or hunger. In addition, direct exposure is associated with the worsening of certain diseases. For people with a certain condition, it can be annoying and dangerous. Many devices on the market have filtering systems to address this situation, but they significantly modify most colors. This work proposes a new procedure to reduce the color representation or screen Gamut corresponding to the most energetic emissions, in order to avoid their projection. The filter gets up to 100 % absorption, maintaining contrast, quality, and most of the image colors, with a result as realistic as possible. The proposal is considered of interest for real-time application in video projection devices, such as augmented and virtual reality.

*Keywords:* Filtering and smoothing, Adaptive observer design, Estimation and Filtering, Adaptive control, Analytic design, Digital implementation, Nonlinear observers and filter design.

## 1. Introducción

La luz azul que generan los dispositivos electrónicos es un tema de preocupación y estudio en los últimos años. El motivo se basa en el aumento exponencial del tiempo de uso de esos dispositivos conjuntamente con la aparición de estudios que revelan la posibilidad de que produzcan daños a la salud, por el alto contenido en emisiones con longitudes de onda corta y gran energía, conocida como luz azul.

El riesgo que conlleva es un tema ampliamente tratado en los últimos años, relacionándolo con ciertas enfermedades como AMD Baker et al. (2022), retinopatía causada por la diabetes Chan et al. (2023) o glaucoma Hecht et al. (2023). Se puede concluir en laboratorio que con la exposición prolongada a la luz azul durante varios días se produce daño retinal. Según Hong Lan Jin y Kwang Won Jeong Jin and Jeong (2022), la exposición a la luz azul en las células epiteliales del pigmento

\*Autor para correspondencia: jbayon01@ucm.es  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

retinal produce un daño cuantificable. La extrapolación al día a día con el uso de dispositivos móviles tiene resultados heterogéneos. Según Kozlowski (2021), la causalidad entre el uso de dispositivos personales y el daño retinal no es concluyente y se debería hacer más investigación al respecto. Sin embargo, según Chao Wen Lin et al. Lin et al. (2019), las pantallas LCD causan daño en las células fotorreceptoras que está correlacionado con el nivel de energía emitido, especialmente el correspondiente a la luz azul. Finalmente, Jiyoung Moon et al. Moon et al. (2017) concluyen que la luz de las pantallas es directamente una de las causas de muerte celular.

Además, la luz azul se relaciona con otros problemas como la afección de los ciclos circadianos o la calidad del sueño, Moyano et al. (2020), incluso con el proceso hormonal del apetito, Driller et al. (2019). Controlar la exposición a la luz azul de las pantallas es importante, y la mayor parte de dispositivos actuales tienen algún tipo de sistema de filtrado para conseguirlo. Una de las primeros sistemas de filtrado se desarrolla en el proyecto f.lux f.lux (2015), que se puede descargar de manera gratuita. Posteriormente aparecieron ejemplos como Eye Care Chiu and Liu (2020) para dispositivos Android o Night Shift Driller et al. (2019) para Apple. Se pueden encontrar análisis en el estado del arte de filtros en distintos dispositivos, demostrando que reducen la emisión de azul, pero modificando todos los colores de la fotografía Escofet and Bará (2017); Calvo-Sanz and Tapia-Ayuga (2020); Sroga et al. (2019). Estos filtros se desarrollan para cada dispositivo específico, pero actualmente no hay soluciones que se puedan aplicar al video directamente y que por tanto sirvan para los nuevos dispositivos que van apareciendo, como pueden ser los de realidad aumentada y virtual, que además se utilizan directamente sobre los ojos magnificando el peligro.

Nuestro trabajo propone un filtro digital aplicado al vídeo en tiempo real que no modifica la mayor parte de colores pero reduce considerablemente la emisión de azul, manteniendo la calidad y el contraste, de forma que no se distorsione la información representada. El filtro reduce el gamut de representación mediante una transformación propia que consigue una absorción de hasta el 100% respecto al total posible, con un 90% de los colores que se perciben igual.

## 2. Espacios de color

La representación de imágenes por parte de los dispositivos se realiza a partir de la codificación de las mismas en un sistema de coordenadas que refleja la luminancia y el cromatismo. Esta representación matemática quiere asimilar la percepción humana, con tres tipos de receptores con sensibilidad para tres frecuencias de onda o colores básicos: rojo, verde y azul. De forma que en el sistema tricromático *RGB* cada eje representa cada uno de los tres receptores, y la combinación a partes iguales de los tres representa la luminancia percibida por los bastones, Kawamura and Tachibanaki (2012).

El cubo *RGB* es el espacio de color más básico para la codificación de imágenes digitales y se utiliza para el cálculo de sistemas de representación o espacios de color más complejos. La evolución tecnológica implica nuevas necesidades, y el sistema de codificación tiene que representar cada vez un mayor número de colores pero también un mayor número de puntos por imagen y por tanto su compresión y simplificación. Una

de las primeras propuestas es el espacio de color *YUV* Kahu et al. (2019), que sirve para la codificación de la imagen y la transmisión de colores en el sistema americano de televisión en blanco y negro. El sistema propone una primera coordenada *Y* que codifica la luminancia calculada como suma ponderada de los tres básicos y dos coordenadas cromáticas calculadas como diferencia también ponderada. El resultado es un espacio de color con menor correlación entre coordenadas, más ligero y compresible. Existen numerosos espacios de color que buscan una representación más adaptada a la compresión, a la representación de mayor número de colores o a las comunicaciones, pero todos se calculan a partir de las coordenadas *RGB*. Eligiendo de manera adecuada la codificación de la imagen, se puede conseguir filtrar el componente azul para conseguir nuestro objetivo: los espacios de color *YIQ* y *YES* son los que vamos a usar para filtrar. Existen otros espacios de color con los que se podrían obtener resultados similares, pero se han seleccionado *YIQ* y *YES* porque su funcionamiento es óptimo para la gran mayoría de casos.

Por otro lado, el color es una percepción humana que se aleja de la codificación computacional Bowmaker and Dartnall (1980). Por eso se buscan representaciones que modelen de manera más exacta la sensación de una persona. Por ejemplo, la representación según las tres características sensoriales de los colores, brillo, saturación y contraste; es el caso del espacio de color *CIE L\*C\*h\**, por ejemplo. La Comisión Internacional de Iluminación CIE (con sus siglas provinientes del Francés, *Commission Internationale de l'elclairage*) busca la estandarización de esa representación *humanizada*. En 1931 desarrollan un sistema de coordenadas teóricas *XYZ* Smith and Guild (1931), con un cero absoluto y valores infinitos, de forma que se puedan representar todos los posibles colores. Las tres coordenadas teóricas, que tienen en cuenta la iluminación para el cálculo del color, sirven para obtener los espacios de color derivados, como el mencionado *CIE L\*C\*h\**. Estos espacios de color tienen un volumen de representación o Gamut acotado, que pretenden representar todos los puntos del espectro visible de manera continua. De esta forma el desplazamiento de coordenadas no genera cambios bruscos de cromatismo, y por tanto se pueden medir distancias entre colores. Un claro ejemplo es el espacio de color *CIE 1974 L\*a\*b\** Note (1974), que es el que se utiliza habitualmente para realizar esa medida de distancia  $\Delta E$ , calculada como la distancia euclídea entre los puntos del sistema de tres coordenadas o tres dimensiones.

Por lo tanto  $\Delta E$  se utiliza para valorar los resultados del filtro, mientras que *YIQ* y *YES* se usan para filtrar. Es importante explicar que las transformaciones de un espacio de color a otro son invertibles, de forma que siempre se puede volver a la representación original. De hecho se invierte el proceso para la reproducción en las diferentes pantallas, que reciben una intensidad tricromática *RGB* por pixel, que encienden los tres emisores correspondientes. A continuación se explica con más detalle las características de los dos espacios de color que utilizamos. Según Kahu et al. Kahu et al. (2019) estos espacios de color codifican el color con menos correlación entre los canales, cosa que resulta útil para las comunicaciones y la compresión. En los dos el primer canal *Y* es la luminancia, resultado de la suma ponderada de los tres *RGB* y los dos siguientes son de crominancia, resultado de la resta ponderada.

La selección de los canales adecuados para filtrar responde a la cantidad de azul que representen. Las fórmulas para la transformación desde el espacio de color *RGB* normalizado a los dos espacios que utilizamos están tomadas de su artículo Kahu et al. (2019).

### 2.1. Espacio de color *YIQ*

El sistema *YIQ* nace como estandarización del sistema de televisión americano. Sus dos canales de cromatismo se calculan a partir del espacio de color *RGB* normalizado según la ecuación (1).

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,299 & 0,587 & 0,114 \\ 0,595 & -0,274 & -0,321 \\ 0,211 & -0,522 & 0,311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

Se puede observar en la matriz que ambos canales cromáticos tienen una proporción de azul parecida. El canal *I* representa la diferencia de azul y verde respecto al rojo. Es decir, la diferencia de color entre el rojo y el turquesa. El canal *Q* representa la diferencia de color del verde y la suma del azul con el rojo, es decir violeta. Se van a utilizar los dos canales cromáticos que tienen la misma proporción de azul, pero equilibrándose con verde y con rojo respectivamente. En el primer canal cromático hay que modificar el tramo negativo, que va de -0,595 a 0,595 y en el segundo el tramo positivo, que va de -0,522 a 0,522.

### 2.2. Espacio de color *YES*

En el espacio de color *YES*, la *E* es la diferencia entre el rojo y el verde y *S* es la diferencia entre el amarillo y el azul. La conversión entre el espacio de color *RGB* normalizado y *YES* es la recogida en la ecuación (2).

$$\begin{bmatrix} Y \\ E \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,253 & 0,684 & 0,063 \\ 0,500 & -0,500 & 0,000 \\ 0,250 & 0,250 & -0,500 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

Se puede confirmar en la matriz que el segundo canal es exclusivamente la diferencia entre el rojo y el verde y que por tanto no tiene ninguna proporción de azul en su composición. El canal que se utilizará para filtrar la fotografía es el tercero, correspondiente a la *S*, que representa la diferencia entre el azul y la suma del rojo y el verde a partes iguales (amarillo). Para realizar el filtrado es necesario actuar en la parte negativa del rango que va de -0,5 a 0,5 (parte azul).

## 3. Planteamiento del Filtro

El proceso para filtrar consiste en hacer el cambio de base al nuevo espacio de color desde las coordenadas *RGB*, y retirar el tramo que representa el azul. Es decir, todos los valores en el tramo en el que el azul es predominante se igualan a cero. Con esto se modifica el cromatismo sin cambiar de signo en el rango, evitando posibles aberraciones. El proceso se refleja en el Algoritmo 1. *ImagenRGB* es la fotografía en *RGB* normalizado, *ECS* es el acrónimo de *Espacio de color seleccionado* (*YIQ* o *YES* en este caso) y *Canal* es el canal que sirve para filtrar (segundo o tercero). La máscara se hace menor que cero, aunque sería mayor que cero para el segundo canal cromático de *YIQ*. Estas diferencias se han generalizado por simplicidad.

### Algorithm 1 Filtro(ImagenRGB, ECS, Canal)

---

```

Imagen ← ImagenRGB a ECS
for pixel ∈ Imagen do
    if pixel(Canal) > 0 then
        pixel(Canal) = 0
    end if
end for
ImagenFiltrada ← ECS a RGB
return ImagenFiltrada
    
```

---

Con este proceso se consiguen varias cosas. Primero, el filtro elige los píxeles que tienen mayor cantidad de azul en proporción, que serán los que mayor emisión energética tengan. Segundo, se filtra proporcionalmente a la cantidad de azul que tengan; es decir, si el valor ya es próximo a cero, la absorción es menor, porque se retira menos azul en valor absoluto. Tercero, dado que la luminancia se corresponde con un canal independiente, se asegura que se mantenga, y por tanto el contraste de la fotografía se mantiene también. Por último, los colores que contengan menor cantidad de azul no se verán en general afectados, de forma que se consigue un resultado lo más realista posible. Esto puede verse en la Figura 1, con dos fotografías con predominancia de azul y de violeta donde se ve cómo afecta el filtro con diferentes intensidades de filtrado. El violeta va cambiando hacia el marrón, llegando al amarillo, y el azul hacia un verde cada vez más intenso.



Figura 1: Efecto del filtro sobre el violeta y el azul. Izquierda, fotografía original. Medio, filtro factor cuatro. Derecha, filtro factor ocho.

La elección del espacio del color y del canal depende de la composición de color de la fotografía, para que el resultado sea lo más efectivo posible a la vez que realista. El filtro más adecuado para cada fotografía se puede averiguar probando entre espacios de color y canales. Se busca la mayor absorción con la menor diferencia de color posible, o dicho de otra manera, produzca una la menor reducción posible del volumen de representación del espacio de color normalizado. Cuanto mayor sea la reducción de volumen asociada a las longitudes de onda cortas, menor será la emisión de energía. Sin embargo, cuanto más se reduzca el volumen, menos colores se representarán y menos realista será el resultado. Estos dos factores se equilibran en una *función de coste*. Como son valores opuestos pero no directamente correlacionados, y su valor está normalizado en ambos casos, el mínimo del valor absoluto de su diferencia es el mejor punto de equilibrio. Además, se añade un factor de control de calidad *C*, cuyo valor tiende a cero y sólo se desequilibra en caso de que la calidad se vea comprometida, Ecuación (3).

$$coste = |A_f - V_{dif} - C| \quad (3)$$

$A_f$  es el Azul Filtrado, en relación con la cantidad original, y rectificada sobre la cantidad posible.  $V_{dif}$  representa la diferencia de volumen entre la fotografía original y la filtrada, operando con el volumen normalizado, independientemente del número de colores que pueda representar. Para filtrar se toma siempre el volumen de representación de la pantalla o Gamut, que puede usar algún estándar con mayor volumen que el  $RGB$ , como puede ser  $REC.2020$  o  $Adobe RGB$ . El factor de calidad  $C$  utiliza métricas no referenciales para poder comparar el resultado antes y después de filtrar, para comprobar que mantenga su valor. Se usan tres métricas, con parámetros objetivos o teniendo en cuenta la opinión del observador a mayores, supervisadas y no supervisadas. Las tres son conocidas y se incluyen en varios lenguajes de programación: *Brisque* Mittal et al. (2012b) ( $B$ ), *Piqe Venkatanath* et al. (2015) ( $P$ ), y *Nique* Mittal et al. (2012a) ( $N$ ). El término de calidad se calcula como la desviación de los valores filtrados, respecto a los originales, según la Ecuación (4).

$$C = 3 - B/B_{original} - N/N_{original} - P/P_{original} \quad (4)$$

Llegados a este punto, se ha comprobado que si se realiza una triple transformación en vez de utilizar una única transformación del espacio de color, se consiguen mejores resultados. Esto que permite filtrar en una sola operación matricial. A partir de los valores  $RGB$ , utilizamos una matriz de *Transformación*  $T$  formada por el cambio de base de tres canales cromáticos para obtener unas nuevas coordenadas. La salida debe ser rectificada para ser expresada en magnitudes  $RGB$  otra vez, utilizando la matriz de *Inversión* de la operación  $I$ . Para que el filtro se adapte al color de la fotografía, añadimos la *Matriz de Corrección* de color  $M_c$ , que se calculará de forma dinámica. Por último, multiplicamos el resultado por el *Factor de Filtrado*  $f_f$ , para que el usuario regule el filtro, Ecuación (5).

$$T = RGB * T * I + M_c * f_f \quad (5)$$

El resultado  $T$  es el cambio de coordenadas para conseguir la reducción de volumen deseada. Es el valor que hay que restar a la componente azul del espacio de color  $RGB$ . La operación es equivalente a la operación que se realiza en el Algoritmo 1 en la línea  $pixel(Canal) = 0$ , cuando los valores son positivos. Por eso, la nueva coordenada  $B$  se calcula como  $b = \max\{B - T, 0\}$ .

$M_t$  incluye los tres canales cromáticos, como una resta ponderada de los colores básicos, donde un extremo del intervalo representa: (1) la combinación de azul y rojo, violeta; (2) la combinación de azul y verde, turquesa; y (3) el azul solo. En los espacios de color elegidos: (1) el canal  $Q$  de  $YIQ$ ; (2) el canal  $I$  de  $YIQ$ ; (3) el canal  $S$  de  $YES$ . Con estos canales como base, ajustamos las cantidades finales y los signos para producir el equilibrio entre ellos, entre el azul con el rojo y el azul con el verde a partes iguales, de forma que el sistema funcione como se desea, Ecuación (6).

$$M_t = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,50 & -0,25 \\ 0,50 & -0,25 & -0,25 \\ -0,25 & -0,25 & 0,50 \end{bmatrix} \quad (6)$$

La matriz de inversión tiene valor fijo y representa la conversión inversa de la coordenada azul de los espacios de color  $YUV$  y  $YES$  para expresar el resultado en magnitud  $RGB$ , Ecuación (7).

$$I = \begin{bmatrix} 1,3705 \\ 1,3705 \\ 1,8662 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$M_c$  es paramétrica, en función del *Factor de Color*  $f_c$ , Ecuación (8).  $f_c$  ajusta la reducción de volumen a la zona del espacio donde es más eficaz, en función del color de la fotografía. Para garantizar el mantenimiento de la luminancia y el contraste,  $f_c$  toma valores entre  $-0,5$  y  $0,5$ . Con los valores límite, el equilibrio se desplaza entre los tres colores, y el filtro reduce el volumen del espacio de color más hacia el verde o más hacia el rojo. El resultado tiende a ser lo más realista posible mientras se elimina la mayor emisión de azul al minimizar la función de coste.

$$M_c = \begin{bmatrix} -f_c \\ f_c \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Con el *Factor de Filtrado*  $f_f$  el usuario puede regular el filtro según sus necesidades. Con cero no se filtra y a medida que se va subiendo el valor se aumenta la efectividad hasta llegar al 100 % de absorción. En la imagen 2(a), con  $f_f$  ocho en algunas de las imágenes ya se absorbe la totalidad de azul.

Cuando el usuario fija  $f_f$ , el filtro calcula el máximo volumen de representación fijando el valor de  $f_c$ , contenido en el Gamut de la pantalla, y cambia las coordenadas al nuevo espacio de color. Específicamente para la reproducción de vídeo, cada vez que existe un cambio de plano asociado a un movimiento drástico en el acelerómetro del dispositivo portable, el volumen se calcula de nuevo para ajustar el coste. El filtro se calibra para conseguir la representación más real con la mayor absorción de luz azul posible. Comprobamos esta afirmación a continuación con la muestra de resultados.

#### 4. Resultados

Los resultados se han conseguido usando Matlab, versión R2023a, ejecutándose en macOS Sonoma 14.3.1. El portátil tiene un Intel Core i5 a 2,4 GHz, con 16 GB de RAM. Para obtener datos sobre diferentes colores y combinaciones, primero probamos el filtro con un conjunto de 98 imágenes variadas, procedentes del dataset Landscapes de Rougetet Rougetet (2020), con resoluciones diversas entre 1590x1079 y 602x465. Los resultados sirven para comprender la eficacia del filtro y su comportamiento con distintos *Factores de Filtrado*  $f_f$ . La Figura 2(a) muestra que la absorción del azul puede alcanzar el 100 % con un valor  $f_f$  de ocho, en relación con el azul total posible, siempre dependiendo de los colores de la fotografía. Cuanto menor sea  $f_f$ , menos azul se absorbe. Sin embargo, con dos la absorción media es del 60 %, lo que se considera un buen resultado.

En cuanto al volumen, representado en la Figura 2(b), cuando  $f_f$  es dos, el volumen disminuye más en proporción. Por encima de dos, el volumen disminuye con el aumento de  $f_f$  de manera progresiva. El coste, es decir, la compensación

entre absorción y volumen de renderizado, es mejor para  $f_f$  de 4 en general y puede tomarse como valor de referencia.

perder información de color.

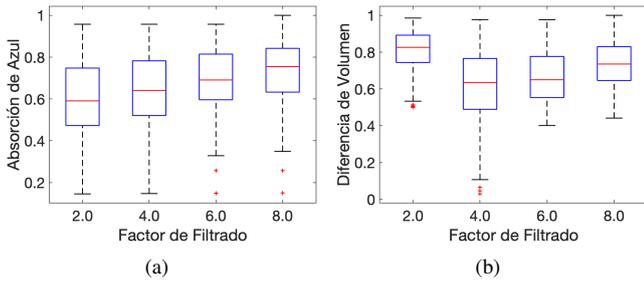


Figura 2: Absorción de Azul y diferencia de volumen para 98 imágenes

En lo que respecta a la representación del color, cuanto mayor sea el volumen, más colores permanecerán. La cuestión que hay que analizar es cuánto difieren los colores que cambian en el nuevo espacio. La distancia euclídea  $\Delta E$  es una de las medidas más utilizadas en la literatura científica, calculada en el espacio de color  $CIE L^*a^*b^*$ . En la Figura 3(a) observamos los valores  $\Delta E$  para el conjunto de 98 fotografías, calculados como la media de la diferencia de color del conjunto de píxeles. Los valores para un *Factor de Filtrado*  $f_f$  de dos son aceptables, con un valor medio de 5,15. Según la norma ISO para la reproducción gráfica of Standardization ISO (2013), cinco es el máximo  $\Delta E$  aceptable para considerar iguales los colores. Cuando  $f_f$  aumenta,  $\Delta E$  aumenta proporcionalmente, alcanzando valores altos. Sin embargo, la luminancia permanece intacta gracias al propio diseño del filtro, siempre que los valores del *Factor de Color*  $f_c$  estén dentro del intervalo de  $[-0, 5, 0, 5]$ . Por lo tanto, el contraste se mantiene y reproduce los gradientes de color, bordes y líneas sin perder calidad. Además, hay que recordar que la calidad es uno de los factores de la función de coste, Ecuación 3, con la que se obtiene la configuración del filtro.

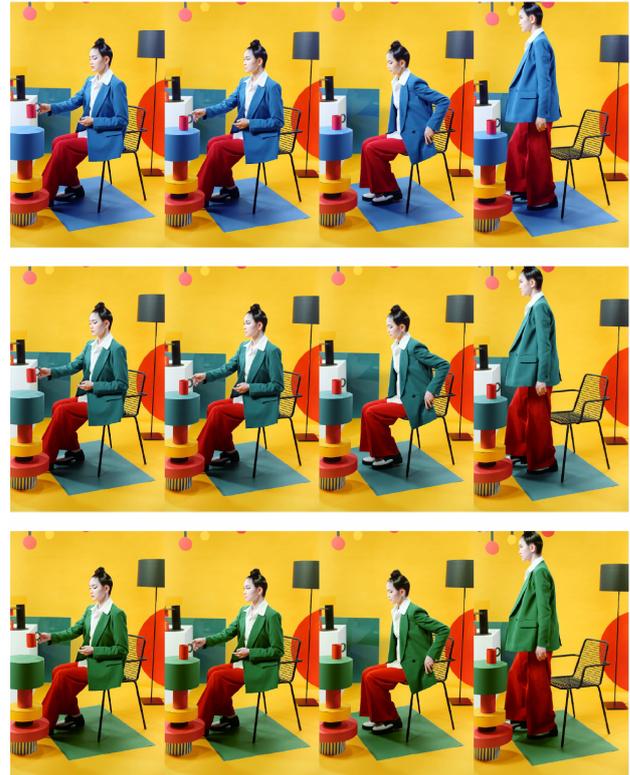


Figura 4: Ejemplo de filtrado de vídeo. Arriba, vídeo original. En medio, vídeo con *Factor de Filtrado* 4. Abajo, vídeo con *Factor de Filtrado* 8

Finalmente, el filtro se prueba aplicándolo al vídeo, para obtener resultados comparables al filtrado de las pantallas de los dispositivos. El espacio de color reducido se calcula sólo al principio del vídeo, para mantener la homogeneidad en la proyección. La Figura 4 muestra el resultado de un vídeo con bastante presencia de azul filtrado. El vídeo tiene también otros colores para ejemplificar mejor el funcionamiento y está disponible con licencia de uso libre Studio (2024). En la fila central, el filtro se configura con un *Factor de Filtrado*  $f_f$  cuatro. En la tercera fila, el *Factor de Filtrado* es ocho. El azul se convierte en verde, y el verde se vuelve más verde a medida que  $f_f$  aumenta. El proceso para filtrar es, primero, averiguar la reducción del Gamut de la pantalla para representar el vídeo, y luego cambiar al nuevo espacio de color en cada fotograma. El resultado medio de absorción para un *Factor de Filtrado*  $f_f$  de ocho es de un 80 %.

Con el ordenador portátil, el vídeo se filtra en tiempo real a treinta fotogramas por segundo. La calibración del filtro para encontrar la reducción de volumen del espacio de color ralentiza el proceso al principio, con un tiempo medio de procesamiento de 104 segundos. Sin embargo, cuando se conoce, el filtro funciona en tiempo real.

Realizamos también una prueba de concepto con un equipo de realidad aumentada, unas gafas Rokid Air Rockid (2024), conectadas a un teléfono Android Oppo Find X5 5G para el procesamiento, con un Qualcomm Snapdragon 888. Se usa para la prueba un *Factor de Filtrado*  $f_f$  de cuatro, el valor de referencia. La proyección del vídeo del dispositivo se percibe con cierta latencia, a 20 fotogramas por segundo, debido

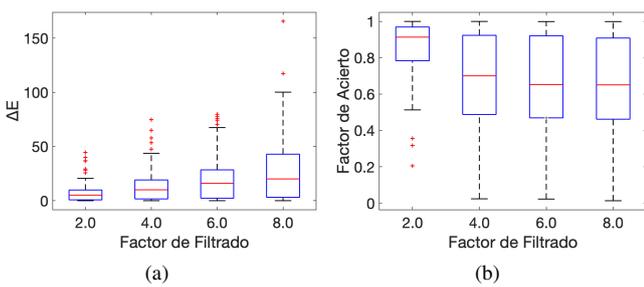


Figura 3: Diferencia de color  $\Delta E$  y Factor de Acierto en el color

Se analiza además la percepción del color por parte del observador, utilizando el algoritmo de etiquetado de color *NICE* Parraga and Akbarinia (2016) para Matlab, que etiqueta los píxeles entre once colores básicos. La Figura 3(b) muestra el *Factor de Acierto* entre la imagen original y la filtrada. El observador percibe mayoritariamente los colores como iguales con  $f_f$  por debajo de cuatro. Con  $f_f$  de cuatro, se modifican algunos colores, principalmente el azul y el violeta. Sin embargo, cuando  $f_f$  aumenta, el *Factor de Acierto* permanece estable. Por lo tanto, el usuario puede aumentar el filtro sin

al procesamiento secuencial en CPU del teléfono Android.

## 5. Conclusiones, limitaciones y trabajo futuro

Este artículo propone un filtro que funciona reduciendo el volumen de representación del color para aplicaciones de vídeo. El filtro absorbe alrededor del 60 % de azul, en relación con el azul total posible, con un *Factor de Filtrado* de cuatro, alcanzando el 100 % cuando se aumenta.

El planteamiento propuesto pone énfasis en preservar el contraste de la imagen, evitando actuar sobre la escala de grises, y en concreto sobre el blanco, que resulta igual de energético que el azul puro. Por esta razón se considera una posible vía de investigación el cómo mejorar el filtro actuando sobre el blanco. Por otro lado, el tiempo de calibración y el de filtrado en el dispositivo de realidad aumentada podrían mejorarse a futuro, usando técnicas de paralelización y procesamiento en tarjeta gráfica, para poder conseguir el filtrado en tiempo real de imágenes HD.

Este trabajo propone un filtro dinámico que puede modularse en intensidad para adaptarse a las necesidades del usuario de manera dinámica. Consigue una alta absorción manteniendo la calidad y la mayoría de los colores, así como la calidad y el contraste. El vídeo filtrado se reproduce en tiempo real sin distorsión y tiene aplicación en dispositivos portables como pueden ser dispositivos de realidad aumentada y virtual.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado parcialmente gracias al apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación (Subvención nº PID2021-125596OB-I00 y PLEC2022-009261) y la Cátedra UCM-ONCE Tiflotecnología.

## Referencias

- Baker, J., Putnam, N., Kozlowski, R. E., Anderson, M., Bird, Z., Chmielewski, J., Meske, J., Steinhauer, N., Kozlowski, M. R., 6 2022. Effects of chronic, daily exposures to low intensity blue light on human retinal pigment epithelial cells: Implications for the use of personal electronic devices. *Journal of Photochemistry and Photobiology* 10. DOI: 10.1016/j.jpap.2022.100118
- Bowmaker, J. K., Dartnall, H., 1980. Visual pigments of rods and cones in a human retina. *The Journal of physiology* 298 (1), 501–511. DOI: 10.1113/jphysiol.1980.sp013097
- Calvo-Sanz, J. A., Tapia-Ayuga, C. E., 2020. Blue light emission spectra of popular mobile devices: The extent of user protection against melatonin suppression by built-in screen technology and light filtering software systems. *Chronobiology International* 37 (7), 1016–1022. DOI: 10.1080/07420528.2020.1781149
- Chan, Y.-J., Hsiao, G., Wan, W.-N., Yang, T.-M., Tsai, C.-H., Kang, J.-J., Lee, Y.-C., Fang, T.-C., Cheng, Y.-W., Li, C.-H., 2023. Blue light exposure collapses the inner blood-retinal barrier by accelerating endothelial cln5 degradation through the disturbance of gnaz and the activation of adam17. *Fluids and Barriers of the CNS* 20 (1), 31. DOI: 10.1186/s12987-023-00430-7
- Chiu, H. P., Liu, C. H., 1 2020. The effects of three blue light filter conditions for smartphones on visual fatigue and visual performance. *Human Factors and Ergonomics In Manufacturing* 30, 83–90. DOI: 10.1002/hfm.20824
- Driller, M. W., Jacobson, G., Uiga, L., 2019. Hunger hormone and sleep responses to the built-in blue-light filter on an electronic device: A pilot study. *Sleep Science* 12, 171–177. DOI: 10.5935/1984-0063.20190074
- Escofet, J., Bará, S., 6 2017. Reducing the circadian input from self-luminous devices using hardware filters and software applications. *Lighting Research and Technology* 49, 481–496. DOI: 10.1177/1477153515621946
- f.lux, 2015. Software to make your life better. <https://justgetflux.com/>.
- Hecht, I., Kanclerz, P., Achiron, A., Elbaz, U., Tuuminen, R., 2023. The effect of blue-light filtering intraocular lenses on the development and progression of glaucoma. *Journal of Glaucoma* 32 (6), 451–457. DOI: 10.1097/IJG.0000000000002220
- Jin, H. L., Jeong, K. W., 2022. Transcriptome analysis of long-term exposure to blue light in retinal pigment epithelial cells. *Biomolecules & Therapeutics* 30 (3), 291. DOI: 10.4062/biomolther.2021.155
- Kahu, S. Y., Raut, R. B., Bhurchandi, K. M., 2019. Review and evaluation of color spaces for image/video compression. *Color Research & Application* 44 (1), 8–33.
- Kawamura, S., Tachibanaki, S., 2012. Explaining the functional differences of rods versus cones. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Membrane Transport and Signaling* 1 (5), 675–683. DOI: 10.1002/wmts.8
- Kozlowski, M. R., 3 2021. Blue light-induced retinal damage: a brief review and a proposal for examining the hypothetical causal link between person digital device use and retinal injury. *Medical Hypothesis, Discovery & Innovation in Optometry* 1, 129–134. DOI: 10.51329/mehdiptometry118
- Lin, C. W., Yang, C. M., Yang, C. H., 5 2019. Effects of the emitted light spectrum of liquid crystal displays on light-induced retinal photoreceptor cell damage. *International Journal of Molecular Sciences* 20. DOI: 10.3390/ijms20092318
- Mittal, A., Moorthy, A. K., Bovik, A. C., 2012a. No-reference image quality assessment in the spatial domain. *IEEE Transactions on image processing* 21 (12), 4695–4708. DOI: 10.1109/TIP.2012.2214050
- Mittal, A., Soundararajan, R., Bovik, A. C., 2012b. Making a “completely blind” image quality analyzer. *IEEE Signal processing letters* 20 (3), 209–212. DOI: 10.1109/LSP.2012.2227726
- Moon, J., Yun, J., Yoon, Y. D., Park, S.-I., Seo, Y.-J., Park, W.-S., Chu, H. Y., Park, K. H., Lee, M. Y., Lee, C. W., et al., 2017. Blue light effect on retinal pigment epithelial cells by display devices. *Integrative Biology* 9 (5), 436–443. DOI: 10.1039/c7ib00032d
- Moyano, D. B., Sola, Y., González-Lezcano, R. A., 8 2020. Blue-light levels emitted from portable electronic devices compared to sunlight. *Energies* 13. DOI: 10.3390/en13164276
- Note, A. T., 1974. Proposal for study of color spaces and difference equations. *J. Opt. Soc. Am.* (64), 896.
- of Standardization ISO, I. O., 2013. Iso 12647-2:2013(en) graphic technology — process control for the production of half-tone colour separations, proof and production prints — part 2: Offset lithographic processes. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:12647:-2:ed-3:v1:en>.
- Parraga, C. A., Akbarinia, A., 03 2016. Nice: A computational solution to close the gap from colour perception to colour categorization. *PLOS ONE* 11 (3), 1–32. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149538> DOI: 10.1371/journal.pone.0149538
- Rockid, 2024. Rockid air. <https://air.rockid.com/>.
- Rougetet, A., 2020. Landscape pictures. <https://www.kaggle.com/datasets/arnaud58/landscape-pictures>.
- Smith, T., Guild, J., 1931. The cie colorimetric standards and their use. *Transactions of the optical society* 33 (3), 73. DOI: 10.1088/1475-4878/33/3/301
- Sroga, M., Dośpiał, M., Gacek, M., 2 2019. The effectiveness of eye protection application against harmful blue radiation in modern mobile devices. *Acta Physica Polonica A* 135, 162–165. DOI: 10.12693/APhysPolA.135.162
- Studio, C., 2024. video. <https://www.pexels.com/es-es/video/moda-arte-mujer-pared-7510036/>.
- Venkatanath, N., Praneeth, D., Bh, M. C., Channappayya, S. S., Medasani, S. S., 2015. Blind image quality evaluation using perception based features. In: 2015 twenty first national conference on communications (NCC). IEEE, pp. 1–6. DOI: 10.1109/NCC.2015.7084843