



ELSEVIER

Listas de contenidos disponibles en ScienceDirect

## La superficie ocular

página principal de la revista: [www.elsevier.com/locate/jtos](http://www.elsevier.com/locate/jtos)

## Estilo de vida TFOS: Impacto del entorno digital en la superficie ocular

James S. Wolffsohn<sup>a,f,\*</sup>, Gareth Lingham<sup>b</sup>, Laura E. Downie<sup>c</sup>, Byki Huntjens<sup>d</sup>, Takenori Inomata<sup>e</sup>, Saleel Jivraj<sup>a</sup>, Emmanuel Kobia-Acquah<sup>b</sup>, Alex Muntz<sup>f</sup>, Karim Mohamed-Noriega<sup>g</sup>, Sotiris Plainis<sup>h,a</sup>, Michael Read<sup>i</sup>, Rony R. Sayegh<sup>j</sup>, Sumeer Singh<sup>c</sup>, Tor P. Utheim<sup>k</sup>, Jennifer P. Craig<sup>f,a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ciencias de la Salud y de la Vida, Escuela de Optometría, Universidad de Aston, Birmingham, Reino Unido

<sup>b</sup> Centro de Investigación Ocular de Irlanda, Universidad Tecnológica de Dublín, Dublín, Irlanda

<sup>c</sup> Departamento de Optometría y Ciencias de la Visión, Universidad de Melbourne, Parkville, Victoria, Australia

<sup>d</sup> División de Optometría y Ciencias Visuales, City, Universidad de Londres, EC1V 0HB, Reino Unido

<sup>e</sup> Departamento de Oftalmología, Facultad de Medicina de la Universidad Juntendo, Bunkyo-ku, Tokio, Japón

<sup>f</sup> Departamento de Oftalmología, Centro Oftalmológico Nacional de Nueva Zelanda, Universidad de Auckland, Auckland, Nueva Zelanda

<sup>g</sup> Departamento de Oftalmología, Hospital Universitario y Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Monterrey, 64460, México

<sup>h</sup> Laboratorio de Óptica y Visión, Facultad de Medicina, Universidad de Creta, Grecia

<sup>i</sup> División de Farmacia y Optometría, Universidad de Manchester, Manchester, Reino Unido

<sup>j</sup> Instituto Oftalmológico Cole, Clínica Cleveland, Cleveland, OH, EE.UU.

<sup>k</sup> Departamento de Oftalmología, Hospital Universitario de Oslo, Oslo, Noruega

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

## Palabras clave:

Entorno digital  
Tensión ocular digital  
Síndrome visual informático  
Fatiga visual  
Pantalla digital  
Gestión  
Revisión sistemática  
Parpadeo  
Nutrición  
Luz azul

## RESUMEN

La fatiga ocular al realizar tareas dependientes de un entorno digital puede causar molestias que afectan a la productividad y a la calidad de vida. La fatiga visual digital (la terminología preferida) se definió como "el desarrollo o exacerbación de síntomas y/o signos oculares recurrentes relacionados específicamente con la visualización de pantallas de dispositivos digitales". Se ha informado de una prevalencia de la fatiga visual digital de hasta el 97%, debido a la falta de una definición o criterios de diagnóstico acordados previamente y a las limitaciones de los cuestionarios actuales, que no diferencian dichos síntomas de los derivados de tareas no digitales. Los signos objetivos como la frecuencia de parpadeo o los cambios críticos en la frecuencia de parpadeo no son "diagnósticos" de la fatiga visual digital ni están validados como sensibles. Los mecanismos que se atribuyen a la exacerbación de la enfermedad de la superficie ocular son principalmente la reducción de la frecuencia y la compleción del parpadeo, los defectos de refracción parciales/no corregidos y/o las anomalías subyacentes de la visión binocular, junto con la demanda cognitiva de la tarea y las diferencias de posición, tamaño, brillo y deslumbramiento en comparación con una tarea no digital equivalente. En general, las intervenciones no están bien establecidas; los pacientes que experimentan fatiga visual digital deben recibir una corrección refractiva completa para las distancias de trabajo adecuadas. Mejorar el parpadeo, optimizar el entorno de trabajo y fomentar las pausas regulares puede ser de ayuda. Basándose en las mejores pruebas actuales, las intervenciones de bloqueo de la luz azul no parecen ser una estrategia de gestión eficaz. Se necesitan más estudios clínicos y de mayor envergadura para evaluar la eficacia de las lágrimas artificiales para aliviar la fatiga visual digital, en particular comparando diferentes componentes; una revisión sistemática incluida en el informe identificó el uso de secretagogos y compresas calientes/lentes de humedad/ humidificadores ambientales como estrategias prometedoras, junto con la suplementación nutricional (como la suplementación con ácidos grasos omega-3 y extractos de bayas).

## 1. Introducción y terminología

El entorno digital es ahora omnipresente en nuestra vida cotidiana. El informe forma parte del taller de trabajo de la Sociedad de la superficie ocular y película lagrimal (TFOS, por sus siglas en inglés) ([www.tearfilm.org](http://www.tearfilm.org)), titulado "Una epidemia del estilo de vida: Enfermedad de la superficie ocular,

que se llevó a cabo para establecer las repercusiones directas e indirectas que las elecciones y los retos cotidianos del estilo de vida tienen sobre la salud de la superficie ocular. Los objetivos de este informe eran: aclarar la terminología relativa a los efectos oculares del entorno digital (definido como cualquier tecnología que requiera la visualización de una pantalla digital para una tarea cognitiva)

Abreviaturas: IC, Intervalo de confianza; CSV-Q, Cuestionario del síndrome visual informático; CVS-F3, Síndrome visual informático: Formulario 3; CVSS17, Escala de síntomas de visión por computadora; E-paper, Papel electrónico; GRADE, Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations; USB, Universal Serial Bus.

\* Autor correspondiente. Escuela de Optometría, Universidad de Aston, Aston Triangle, Birmingham, Reino Unido.

Dirección de correo electrónico: [j.s.w.wolffsohn@aston.ac.uk](mailto:j.s.w.wolffsohn@aston.ac.uk) (J.S. Wolffsohn).

<https://doi.org/10.1016/j.jtos.2023.04.004> Recibido el 31 de marzo de 2023; Aceptado el 6 de abril de 2023

Disponible en línea el 14 de abril de 2023

1542-0124/© 2023 Los autores. Publicado por Elsevier Inc. Este es un artículo de acceso abierto bajo licencia CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

y los criterios de diagnóstico asociados; caracterizar las diferencias entre la visualización en pantalla digital y en el mundo real y el impacto que esto tiene sobre la película lagrimal, la superficie ocular y el sistema visual; evaluar la prevalencia de los efectos relacionados con el entorno digital sobre los ojos (en particular sobre la superficie ocular), y el impacto sobre la productividad, así como las implicaciones sobre la calidad de vida; y explorar el mecanismo de acción que impulsa los efectos del entorno digital sobre los ojos (en particular sobre la superficie ocular). Esta información se resumió en una revisión de estilo narrativo que, siempre que fue posible, hace referencia a los resultados de las pruebas de revisión sistemática de alta calidad (nivel I). En consonancia con los demás informes del Taller sobre el Estilo de Vida de la TFOS, el Subcomité de Calidad de la Evidencia proporcionó una base de datos exhaustiva de evidencia de Nivel 1 valorada como de relevancia potencial, que se tuvo en cuenta en la redacción del informe [1]. Además, el informe incluye una revisión sistemática y un meta-análisis que evalúa la base de pruebas de los tratamientos/estrategias de gestión propuestos para reducir los síntomas asociados al uso de dispositivos digitales.

Aunque el término "digital" se utiliza comúnmente en el contexto de la computadora en la sociedad contemporánea, su definición y su uso contextual han evolucionado con el tiempo. La palabra "digital" deriva del término latino *digitalis*, de *digitus* (que significa "dedo" o "dedo del pie"). Su significado original era "perteneciente a los números inferiores a diez" (mediados del siglo XV), para reflejar el conteo con los dedos. Como se describe en el Diccionario Etimológico en Línea [2,3], a finales de la década de 1930, la definición de "digital" se amplió al "uso de dígitos numéricos" en reconocimiento a las primeras tecnologías informáticas que utilizaban datos en lugar de cálculo analógico. En la década de 1940, el término digital se asociaba con frecuencia a los métodos de grabación y radiodifusión, evolucionando gradualmente hasta su encarnación actual que describe las tecnologías electrónicas o informáticas de forma más amplia [4].

El término "dispositivos digitales" describe los equipos electrónicos que utilizan datos discretos y numerables; puede ser mediante la recepción, el almacenamiento, el procesamiento o el envío de información digital [5], normalmente a través de una computadora. Algunos ejemplos habituales de dispositivos digitales son las computadoras personales, las tele- visiones y los teléfonos móviles, pero también pueden ser sistemas de navegación, cámaras digitales y sistemas de realidad aumentada. Cabe destacar que no todos ellos tienen pantalla, como los mandos/sensores domésticos. El término "tiempo de pantalla" describe el periodo de tiempo dedicado a ver o utilizar dispositivos digitales con pantalla [6]. En términos prácticos, un "entorno digital" se considera genéricamente un contexto o lugar habilitado por la tecnología y los dispositivos digitales.

Los entornos digitales son omnipresentes en la vida moderna [7], y a menudo implican largos periodos de tiempo de visualización de pantallas. Basándose en los datos de una encuesta en línea realizada a principios de 2020, se estimó que el adulto medio residente en Estados Unidos tenía acceso a al menos 10 dispositivos digitales en su hogar [8], y pasaría casi 8 h al día interactuando con medios digitales [9]. El uso prevalente de las tecnologías digitales también es evidente entre niños y adolescentes. Por ejemplo, en un estudio europeo multinacional de 2016, se informó de que dos tercios de los niños de tres años interactuaban regularmente con un dispositivo digital [10] y es probable que esto haya aumentado desde entonces. Cuando las demandas de visión superan la capacidad del usuario para ver cómodamente la tarea, pueden aparecer síntomas visuales [11]. Cambios en los entornos de trabajo debidos a la pandemia COVID-19 han dado lugar a un uso aún mayor de los dispositivos digitales y a una alta prevalencia de síntomas relacionados [12]. En un estudio transversal de >3000 adultos estadounidenses, se describió que el uso informado autónomamente del tiempo frente a la pantalla había aumentado en un 20-30% durante la pandemia [13].

Los posibles efectos del uso de dispositivos digitales sobre la salud ocular y la visión han sido objeto de interés científico y clínico durante más de 20 años [14]. Sigue siendo un tema destacado y cada vez más relevante, como ponen de relieve varias revisiones bibliográficas recientes [15-19]. La definición más citada es la de la Asociación Americana de Optometría, que afirma que "el síndrome de visión informática, también conocido como fatiga visual digital, describe un grupo de problemas relacionados con los ojos y la visión derivados del uso prolongado de la computadora, la tableta, el lector electrónico y el teléfono móvil" [20]. [20] Sin embargo, esta definición no excluye a quienes experimentan estos "problemas" al realizar tareas no digitales similares y términos clave

como "prolongado" no están definidos.

Para definir claramente el ámbito de las asociaciones oculares para el informe *estilo de vida TFOS: impacto del ambiente digital en la superficie ocular*, el término "**fatiga visual digital**" se define como "**el desarrollo o exacerbación de síntomas y/o signos oculares recurrentes relacionados específicamente con la visualización de pantallas de dispositivos digitales**". Utilizando esta definición, la fatiga visual digital puede considerarse una eventualidad potencial en un individuo clínicamente sano que se produce al utilizar un dispositivo digital, o como un empeoramiento de síntomas y/o signos oculares preexistentes debido al uso de dispositivos digitales. El término "fatiga visual digital" se ha utilizado con preferencia al de "síndrome de visión por computadora", que también suele emplearse en la literatura [21]; se consideró que este último tenía una especificidad implícita hacia las computadoras y no hacia los dispositivos digitales de forma más general. 'Síndrome' se define de forma bastante nebulosa como "una serie de síntomas que se presentan juntos"

[2] y 'visión' el "sentido de la vista" [2], que es una terminología menos apropiada que 'esfuerzo' que significa "esforzarse demasiado" [2] en relación con el 'ojo'. Otra terminología anterior incluye: 'trastorno por esfuerzo repetitivo' [22], pero esto implica que es la exposición repetida la que crea los problemas, al igual que la fatiga ocular [23], para la que no existe respaldo científico; 'dolor relacionado con los ojos' [24], pero la mayoría de las personas no utilizarían esta terminología extrema para describir sus síntomas; 'astenopia' [23,25], que es una debilidad, o fatiga, de los ojos o de la visión - por lo que se ha propuesto que el término puede limitarse mejor a describir síntomas derivados de una anomalía visual u ocular, en lugar de puramente extrínsecos (p. ej., ambientales) [26]; incluso se ha propuesto la "visión de videojuegos" [27], pero ésta sería un subconjunto de la fatiga visual digital.

Los síntomas de la fatiga visual digital son inespecíficos y heterogéneos, e incluyen cansancio ocular, visión borrosa, dolor ocular, tensión ocular, dolor ocular, ardor, sequedad ocular y sensibilidad a la luz [28,29]. Algunas definiciones también incluyen el dolor de cabeza y el dolor de cuello/hombro [30], sin embargo, estos síntomas no oculares se consideraron más allá de la definición específica de ojo relevante para este informe. Se ha propuesto que los síntomas de tensión ocular pueden derivar de dos mecanismos distintos [31]: síntomas "externos" (como sequedad, lagrimeo, irritación y ardor) que se han relacionado con la superficie ocular, incluida la enfermedad del ojo seco [32] y el ojo seco inducido por lentes de contacto [33], y síntomas "internos" (como desenfoco, cansancio y dolor) que se han asociado con la disfunción de la acomodación y/o la visión binocular [31]. Sigue existiendo cierta ambigüedad en cuanto al signo o signos clínicos característicos de la fatiga visual digital, al menos en parte porque su base fisiológica es incierta. Como se analiza con más detalle en la sección 6, se ha sugerido que los posibles indicadores clínicos de la fatiga visual digital pueden incluir medidas de la función visual (como la función de acomodación y convergencia, la frecuencia crítica de fusión del parpadeo y las respuestas pupilares) y de la salud de la superficie ocular (como la osmolaridad de la lágrima, los parámetros del menisco lagrimal, la tasa de evaporación de la lágrima, el tiempo de ruptura lagrimal, las características del parpadeo y los parámetros de las glándulas de meibomio) [34]. El presente informe se centra principalmente en el efecto o efectos de la interacción humana con el entorno digital sobre la superficie ocular, reconociendo que puede resultar difícil determinar el origen de síntomas inespecíficos (como la visión borrosa que puede deberse a una anomalía de la superficie ocular, a una alteración dentro del sistema de visión binocular, a un error refractivo no corregido o a un cambio en el estado refractivo).

## 2. Tecnologías de visualización

### 2.1. Tipo de pantalla

#### 2.1.1. Pantalla de tubo de rayos catódicos (TRC)

Una de las primeras tecnologías de visualización es el tubo de rayos catódicos (de vacío) (TRC), que muestra una imagen mediante el barrido rasterizado de un haz de electrones a través de una pantalla de cristal recubierta de fósforo [35]. Los primeros televisores de tubo de rayos catódicos eran pantallas pequeñas, redondas y monocromáticas con escaso contraste, baja luminancia en pantalla y baja resolución, pero con el tiempo evolucionaron hasta convertirse en grandes pantallas rectangulares en color (normalmente de hasta 40 pulgadas de diagonal) [36]. Desde la década de 1940 hasta la de 1980, el cátodo

Los televisores de tubo de rayos catódicos se adoptaron rápidamente en el hogar [37], y el tiempo dedicado a ver la televisión aumentó de alrededor de 1 a 4 h al día durante este período [38,39]. En la década de 1970, con la llegada de la computadora personal, las pantallas de tubo de rayos catódicos se adoptaron rápidamente en el lugar de trabajo. Con el uso prolongado de estas pantallas, surgió la preocupación de que esta tecnología pudiera tener un impacto negativo en la salud del usuario [40-43]. Aunque varios estudios concluyeron que las pantallas de tubo de rayos catódicos no eran peligrosas en lo que respecta a la emisión de radiaciones electromagnéticas [44,45] ni a la exposición química [46], sí pusieron de manifiesto posibles problemas relacionados con la ergonomía y los síntomas oculares [46, 47]. Los principales problemas de la tecnología de tubo de rayos catódicos estaban relacionados con el deslumbramiento velado [48,49], los reflejos [50], las limitaciones de la resolución/densidad de píxeles [51] y la percepción del parpadeo debido a la frecuencia de actualización relativamente baja (50-60 Hz) [52,53]. Las nuevas tecnologías de tubos de rayos catódicos introducidas en las décadas de 1980 y 1990 trataron de resolver estos problemas con la introducción de monitores de mayor frecuencia de actualización (75-120 Hz, consultar la sección 2.2.6) [54], pantallas menos curvadas [55,56], revestimientos/filtros antirreflejantes [57,58], diseños más compactos [59] y pantallas de mayor resolución [60,61]. A pesar de estos avances, persistieron los informes sobre síntomas oculares y mala ergonomía [61-63]. Además, las pantallas basadas en tubos de rayos catódicos presentaban varias deficiencias relacionadas con su gran tamaño/peso, su elevado coste, su escasa eficiencia energética y los problemas de seguridad/medio ambiente, lo que llevó a la industria a buscar tecnologías de visualización alternativas [64], sobre todo para su uso en dispositivos móviles [65].

## 2.1.2. Tecnología de pantalla plana

### 2.1.2.1. Pantalla de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés).

Un paso clave en el desarrollo de pantallas de bajo consumo, compactas y eficientes fue la introducción de la tecnología de pantallas basadas en cristal líquido a finales de la década de 1970 [66]. Estas pantallas suelen constar de una capa de cristal líquido, intercalada entre películas de polarización cruzada. En su fase relajada, la capa de cristal líquido hace girar la luz polarizada, con lo que la pila de pantallas de cristal líquido transmite luz, mientras que un voltaje aplicado hace que el cristal líquido se vuelva a alinear y la luz quede bloqueada por la segunda película polarizadora [67]. Como la pila de cristal líquido no genera luz, se coloca un reflector o una luz de fondo detrás de la pila para producir una imagen visible. Las pantallas de cristal líquido pueden ser segmentadas, en las que se muestra un número limitado de dígitos individuales o símbolos fijos, o una matriz de píxeles, más adecuada para gráficos alfanuméricos o variables. Aunque a menudo se perciben como una tecnología anticuada, las pantallas segmentadas monocromáticas se siguen utilizando ampliamente (por ejemplo, en relojes y calculadoras) debido a su bajo coste, bajo consumo y alto contraste incluso en condiciones de iluminación intensa. A principios de la década de 1980, el desarrollo de las pantallas matriciales de cristal líquido fue clave para el florecimiento de las computadoras portátiles [68]. Inicialmente se trataba de pantallas monocromáticas reflectantes, aunque la adición de una capa de filtro rojo-verde-azul y una luz de fondo de lámpara fluorescente de cátodo frío permitió la producción de la primera generación de pantallas de cristal líquido en color [69]. Estas primeras pantallas tenían una resolución limitada (generalmente  $640 \times 480$  píxeles), baja frecuencia de actualización de la pantalla (normalmente 30 Hz), imágenes fantasma y un contraste deficiente [70]. La incorporación de transistores de película fina y condensadores directamente sobre el sustrato permitió direccionar cada píxel de forma individual y eficiente [71]. Estas pantallas de cristal líquido con transistores de película fina de matriz activa supusieron un gran paso adelante en la tecnología, gracias a sus mayores resoluciones, tamaños de pantalla más grandes, eficiencia energética, tiempos de respuesta más rápidos y frecuencias de actualización más elevadas, convirtiéndose en el estándar de la tecnología de pantalla plana hasta nuestros días.

### 2.1.2.2. Tecnología de retroiluminación.

Las primeras pantallas de cristal líquido utilizaban retroiluminación por lámparas fluorescentes de cátodo frío, aunque en los últimos años se ha producido un cambio hacia la retroiluminación por diodos emisores de luz (LED, por sus siglas en inglés), lo que permite que las pantallas sean ligeras, fiables, compactas, de larga duración y energéticamente eficientes [72]. Como los diodos emisores de luz suelen ser monocromáticos, los diodos emisores de luz blanca utilizan fósforos que convierten parcialmente la luz azul emitida de alta energía en luz de menor energía [73]. Incluso con

estos fósforos, sigue existiendo un pico espectral distintivo en la región azul (alrededor de 450 nm), junto con picos adicionales entre 500 nm y 700 nm, correspondientes a la luz emitida por los recubrimientos de fósforo (Fig. 1). A continuación, esta luz blanca (380 o 400-700 nm) se filtra a través de los subpíxeles rojos, azules y verdes de la pantalla de cristal líquido para producir una amplia gama de colores [74]. Los retroiluminadores modernos de diodos emisores de luz tratan de resolver el desequilibrio espectral con el uso de fósforos mejorados [75] o tratamientos de puntos cuánticos [76] (partículas nanoscópicas que producen picos espectrales verdes y rojos energéticamente iguales cuando son excitados por un diodo emisor de luz azul), para reducir la emisión de luz azul y mejorar la precisión del color [77].

### 2.1.2.3. Pantallas de diodos orgánicos emisores de luz (OLED, por sus siglas en inglés).

Las pantallas de diodos orgánicos emisores de luz (OLED) de alta resolución se utilizan cada vez más en dispositivos electrónicos de gama alta, como televisores, relojes inteligentes, teléfonos móviles, consolas de juegos, cámaras digitales, tabletas y pantallas de computadoras portátiles. Un diodo orgánico emisor de luz funciona de forma similar a un diodo emisor de luz, aunque utiliza materiales orgánicos en las capas conductora y emisora. Los diodos orgánicos emisores de luz pueden producir luz blanca, que luego se modifica mediante filtros rojo-verde-azul, o diodos orgánicos emisores de luz roja, verde y azul por separado [79]. Las pantallas de diodos orgánicos emisores de luz suelen ser más delgadas, ligeras y flexibles (cuando se fabrican sobre un sustrato flexible) que una pantalla de cristal líquido, con un ángulo de visión amplio, negros profundos, un contraste excelente, píxeles de gran capacidad de respuesta y una buena precisión cromática [80,81]. Sin embargo, entre los posibles inconvenientes de esta tecnología se incluyen (i) la retención permanente de la imagen (quemado de la pantalla), (ii) la degradación de las moléculas orgánicas con la reducción de la emisión de luz con el paso del tiempo [7], (iii) el consumo de energía [82] (especialmente con contenidos de pantalla brillantes), y (iv) el potencial de parpadeo sutil de la pantalla debido a la modulación por ancho de pulso (encender y apagar rápidamente los diodos orgánicos emisores de luz para crear la ilusión de una pantalla atenuada; Fig. 2) [83], lo que puede contribuir a la fatiga visual y los dolores de cabeza de los que se ha informado [84]. La atenuación por modulación del ancho de pulso no se limita a las pantallas de diodos emisores de luz orgánicos y se observa comúnmente en las pantallas de cristal líquido; sin embargo, la frecuencia del parpadeo suele ser menor en una pantalla de diodos emisores de luz orgánicos (alrededor de 120-240 Hz frente a  $1000 +$  Hz) y, por tanto, es potencialmente más problemático [85]. Aunque esta tasa de parpadeo está por encima de la tasa crítica de fusión del parpadeo (50-90 Hz), se ha demostrado que, durante los movimientos sacádicos de los ojos, los seres humanos son capaces de percibir artefactos visuales de parpadeo a tasas superiores a 500 Hz [86]. Se ha informado de que este parpadeo de modulación de anchura de pulso es más pronunciado cuando la pantalla está poco iluminada, en entornos con poca luz ambiental y a distancias de visión cortas [87]. Esta observación es potencialmente más problemática en los jóvenes, ya que suelen tener mejor visión y son más sensibles al parpadeo sutil a frecuencias más altas [88]. Para abordar estas preocupaciones, los fabricantes de pantallas están desarrollando actualmente tecnologías para reducir los problemas con la atenuación por modulación del ancho de pulso utilizando una estrategia de atenuación por corriente continua o aumentando la frecuencia de modulación del ancho de pulso para que quede fuera del rango de preocupación [89]. Con frecuencia se dice que las pantallas de diodos orgánicos emisores de luz emiten menos luz azul que las pantallas de cristal líquido retroiluminadas por diodos emisores de luz [90]; sin embargo, un estudio en el que se compararon las dos tecnologías descubrió que los niveles de emisión de luz azul eran esencialmente independientes de la tecnología de la pantalla, pero estaban estrechamente relacionados con la temperatura de color correlativa de la pantalla [91].

### 2.1.2.4. Papel electrónico (E-paper y E-readers).

En Estados Unidos, aproximadamente 1 de cada 5 personas afirma poseer un lector electrónico de papel electrónico [92], y alrededor del 20% de las ventas de libros se realizan en este formato [93]. Los lectores electrónicos son diferentes de las tabletas y los teléfonos inteligentes, con una pantalla que consiste en millones de microcápsulas microscópicas llenas de líquido ( $\sim 40$   $\mu\text{m}$  de diámetro), intercaladas entre dos electrodos transparentes. Cada microcápsula contiene un pigmento negro cargado negativamente y un pigmento blanco cargado positivamente, separados por un fluido transparente. Una carga negativa aplicada al electrodo inferior produce la repulsión de las partículas negras hacia arriba y una zona oscurecida en la pantalla, mientras que una carga positiva produce

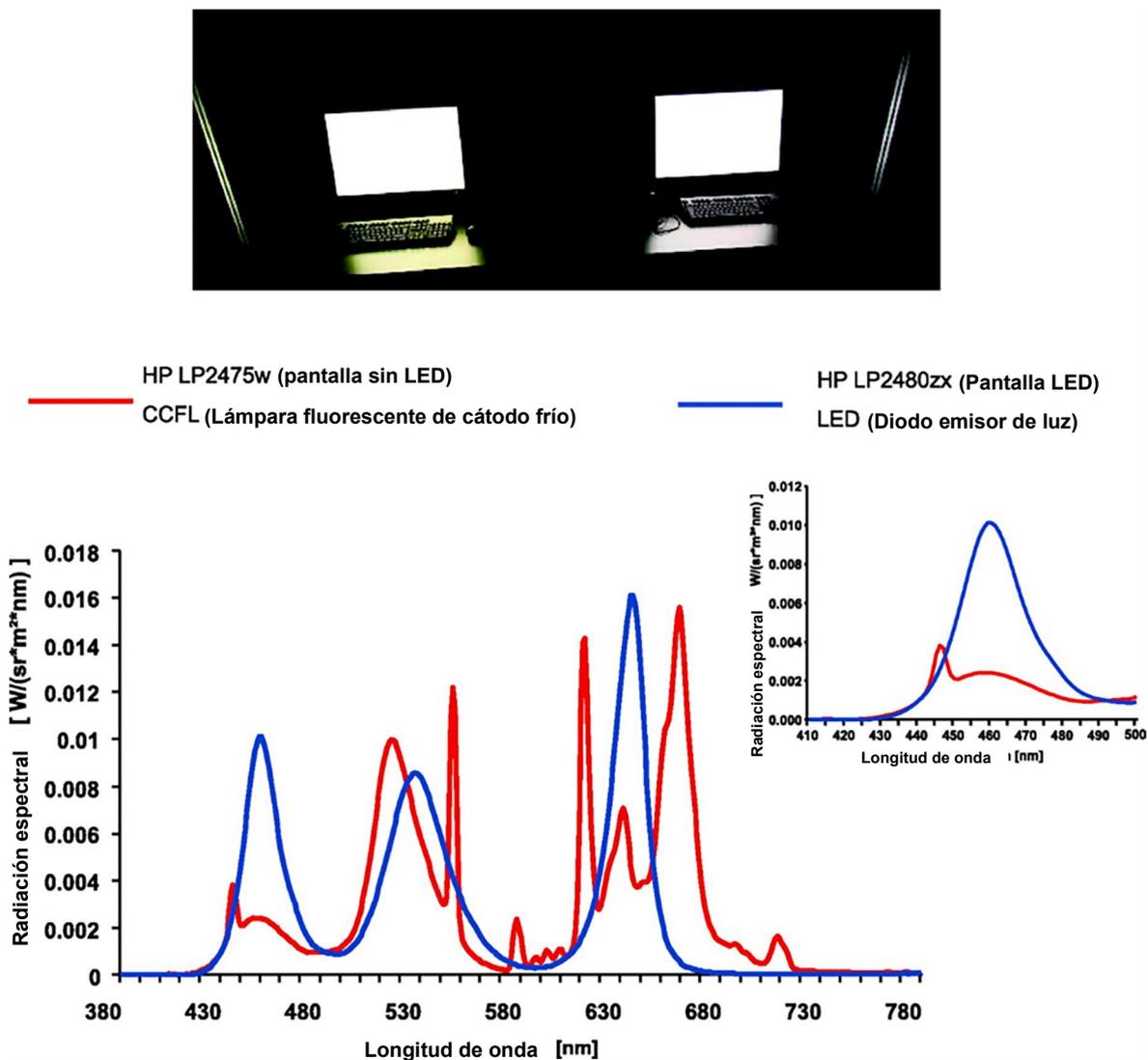


Fig. 1. Comparación de la salida espectral de una pantalla de transistor de película fina (TFT) retroiluminada por lámpara fluorescente de cátodo frío (línea roja) con una pantalla TFT retroiluminada por diodo emisor de luz (LED) (línea azul) [78].

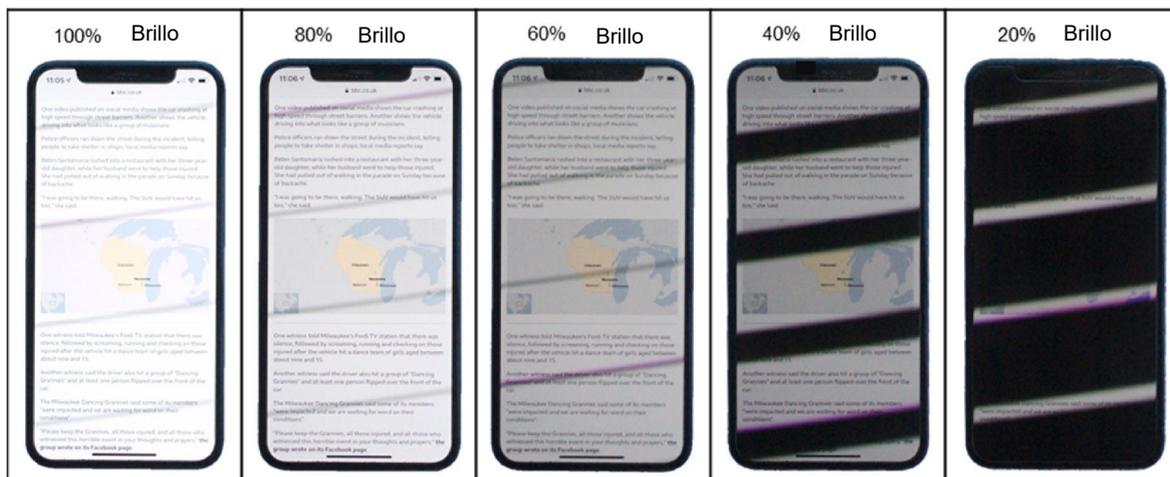


Fig. 2. Fotografías de corta exposición (exposición: 1/8000 s) en las que se aprecia la atenuación por modulación del ancho de pulso de diodos emisores de luz orgánicos en la pantalla de un teléfono inteligente.

una apariencia blanca. Las pantallas de papel electrónico suelen ser de escala de grises, aunque puede aplicarse un filtro rojo-verde-azul (RGB), aunque con colores más bien apagados [94]. La tecnología alternativa del papel electrónico (E-paper) utiliza la tecnología de pantalla de cristal líquido Colestérico biestable para producir una pantalla reflectante [95]. El E-paper tiene un consumo de energía muy bajo (ya que sólo se necesita energía para refrescar la pantalla, no para mantenerla), poco brillo y alto contraste (imitando de cerca la tinta real sobre papel), sin necesidad de retroiluminación en condiciones normales de luz, ya que la pantalla es reflectante. Sin embargo, como la tecnología E-paper es cara de fabricar y suele actualizarse con lentitud, no es adecuada para los medios que requieren pantallas que cambien con rapidez [94].

La distancia de visión típica de un lector electrónico es de unos 30-60 cm [96-98], que según los informes es menor que la de un libro de papel pero mayor que la de un teléfono [99], aunque se sabe que varía con el tamaño del texto [96], la iluminación ambiental [96,100] y la edad del usuario [98]. Esta distancia de trabajo es significativamente inferior a la recomendada para los monitores de sobremesa [101-106] y probablemente esté asociada a que las pantallas de E-paper se sostienen con la mano, tienen un tamaño de pantalla menor y un contraste de luminancia inferior al de un monitor con pantalla de cristal líquido. El contraste de las letras en las pantallas de los lectores electrónicos es comparable al del texto impreso [98,107], aunque puede reducirse mediante la integración de la iluminación, la pantalla táctil o las películas protectoras de pantalla [108]. El tiempo de lectura, el compromiso, la dinámica del parpadeo, los movimientos oculares, el tamaño de la pupila y la legibilidad (comportamiento lector) son generalmente similares entre el papel electrónico y el papel impreso [97,98,107,109]. El ángulo de visión preferido es similar al de una tableta, en torno a 30° -40° [96], lo que puede contribuir a reducir la exposición de la córnea [110]. La fatiga visual digital suele ser menos marcada con el papel electrónico en comparación con el papel convencional no digital [84,97,109,110], aunque no siempre es así [111].

## 2.2. Características y uso de la pantalla digital

### 2.2.1. Emisión de luz

Con la adopción generalizada de las pantallas retroiluminadas de diodos orgánicos emisores de luz y de diodos emisores de luz, se ha expresado preocupación por su emisión de luz azul de longitud de onda corta [112] y por el potencial de dichas emisiones para causar problemas de salud [113-116]. Está bien establecido que la luz azul de alta intensidad puede causar daños en la retina [3] y la superficie ocular [4], pero la opinión actual es que la luz azul de baja intensidad producida por las pantallas digitales es insuficiente para causar fototoxicidad, incluso tras periodos prolongados de uso [112]. Sin embargo, existe

cada vez más pruebas de que la exposición a la luz azul puede suprimir la producción/liberación de melatonina [5,117-119], una hormona liberada por la glándula pineal en el cerebro, que desempeña un papel crucial en el acoplamiento del ritmo circadiano [120]. Aunque todos los tipos de luz pueden suprimir la melatonina [121], se ha descubierto que la luz azul desplaza el ritmo circadiano el doble (3 h) que la luz verde (1.5 h) [122]. Esto se ve respaldado por investigaciones que demuestran que una pantalla de cristal líquido retroiluminada por diodos emisores de luz evocaba una mayor respuesta circadiana de la melatonina, con los cambios de comportamiento asociados, que una pantalla de cristal líquido retroiluminada por lámparas fluorescentes de cátodo frío (con una emisión de luz significativamente menor) [78]. Para abordar estas preocupaciones, los fabricantes de dispositivos digitales han introducido pantallas de cristal líquido con desplazamiento azul [123] junto con sistemas para modular la salida de longitud de onda corta de la pantalla, en función de la hora del día, para imitar los cambios espectrales naturales a lo largo del día (Fig. 3A) [124].

Algunos estudios clínicos han indicado beneficios de las pantallas con baja emisión de luz azul sobre los niveles de melatonina/supresión del sueño [125,126] y la estabilidad de la película lagrimal [127], mientras que otros no han mostrado ningún efecto beneficioso sobre los niveles de melatonina [124] o los resultados del sueño [128] cuando se utiliza la tecnología del modo "turmo de noche". Se ha sugerido que el brillo puede ser más importante para la supresión de la melatonina que la composición espectral de la pantalla [124] y que la estimulación cognitiva y psicológica relacionada con el uso de la pantalla puede desempeñar un papel en la calidad del sueño [128]. Dado estos hallazgos contradictorios, es necesario seguir investigando para orientar el desarrollo de las pantallas de próxima generación y los sistemas de control para optimizar su salida espectral y minimizar su alteración del ritmo circadiano y cualquier impacto potencial sobre la superficie ocular. Esto es especialmente importante dada la conocida asociación entre la calidad del sueño y la enfermedad del ojo seco [129-133].

Otra estrategia diseñada para minimizar los posibles impactos sobre la salud de la emisión de luz azul de una pantalla digital es la implementación del modo oscuro/noche [134]. El modo oscuro es una configuración de pantalla que oscurece la interfaz de usuario, presentando texto de color claro sobre un fondo oscuro (Fig. 3B), con el objetivo de reducir la fatiga ocular en entornos con poca luz [135], mejorar la duración de la batería de los dispositivos móviles de diodos orgánicos emisores de luz [136], minimizar la influencia de los dispositivos en el ritmo circadiano/sueño [90] y mejorar la estética [137]. Existen pruebas limitadas sobre cómo repercuten estos modos oscuros en la salud ocular, el confort y la visión, aunque las pantallas de polaridad positiva (texto negro sobre fondo blanco) suelen mejorar la legibilidad [138,139], producir una fuerte contracción de la pupila (lo que se traduce en una mayor profundidad de campo, un menor desenfoque y una reducción de la

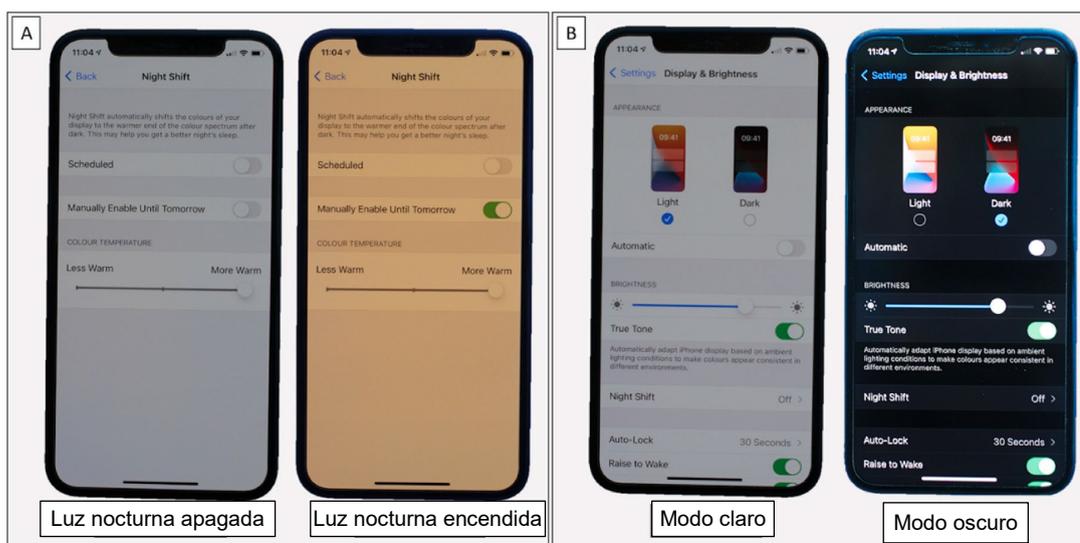


Fig. 3. (A) Comparación de un teléfono inteligente con su modo de luz nocturna apagada y encendida, y (B) con sus ajustes de visualización de modo claro y modo oscuro activados.

carga acomodativa) [140,141], un mejor rendimiento de la agudeza visual [138,142], una menor visibilidad de la luz reflejada [143,144] y una mayor preferencia subjetiva, [145] en comparación con las pantallas de polaridad negativa (texto blanco sobre fondo negro). Sin embargo, varios estudios parecen mostrar un beneficio potencial de la polaridad negativa, sobre todo en condiciones de poca luz ambiental, en las que se ha sugerido que el brillo de la pantalla debería imitar las condiciones de luz del entorno, con el fin de minimizar la fatiga visual [21,146,147]. Se han encontrado puntuaciones más bajas de fatiga visual, una mejor agudeza visual y una preferencia por el modo oscuro en una pantalla de realidad virtual con auriculares [135], junto con una menor supresión del parpadeo y una acomodación más rápida de la pupila (métricas objetivas típicamente asociadas con la reducción de la fatiga) para la visualización en modo de pantalla de cristal líquido de polaridad negativa, aunque, contraintuitivamente, los datos de preferencia subjetiva y fatiga visual favorecieron el modo de polaridad positiva [148]. Se sabe que el efecto de estos modos de visualización depende de la tecnología de visualización y del entorno en el que se utilicen [135,138], por lo que es necesario seguir investigando para comprender mejor el modo de visualización óptimo para dispositivos específicos en una serie de condiciones de iluminación, con el fin de maximizar la legibilidad del texto y minimizar la fatiga visual.

### 2.2.2. Tamaño, posición y resolución de la pantalla (Cuadro 1)

Las pantallas de cristal líquido y de diodos orgánicos emisores de luz están disponibles en una amplia gama de tamaños de pantalla, desde menos de una pulgada hasta más de 100 pulgadas [149,150]. En los últimos 20 años ha habido una tendencia constante a aumentar el tamaño de las pantallas en toda una serie de tecnologías de visualización clave, como los monitores de computadora, los televisores y los teléfonos móviles [151]. A medida que ha aumentado el tamaño de las pantallas, también lo ha hecho la resolución de las mismas [152,153], en parte para mantener la fidelidad visual en estas pantallas más grandes y, más recientemente, para producir pantallas que superan el límite de resolución del ojo humano (las llamadas pantallas "retina") [154]. En particular, se sabe que el tamaño de la pantalla influye en la distancia de visualización recomendada por el fabricante, con una distancia de visualización mayor para las pantallas más grandes a fin de reducir la necesidad de realizar movimientos excesivos de los ojos o el cuello durante su uso [155]. Para maximizar el tamaño de la pantalla y mantener al mismo tiempo la superficie perpendicular al usuario, se han introducido las pantallas curvas [156]. Las investigaciones han puesto de relieve que el tamaño y la resolución de la pantalla influyen en una amplia gama de variables, como la distancia de visión [105,157,158], la legibilidad del texto [159,160], la acomodación [161], la astenopia [162], el tamaño de las pupilas [163], la tensión musculoesquelética [164,165] y la visión rendimiento [166], aunque es probable que muchos de estos efectos sean de- vicios específicos. Se ha demostrado que estas pantallas más grandes de alta resolución ayudan a la productividad [167-171] y mejoran la capacidad de compartir contenidos [172], pero dichas pantallas suelen tener una mayor demanda de energía, devierten peso/volumen y requieren más potencia de procesamiento gráfico.

También se sabe que el tamaño de la pantalla influye en el ángulo de la mirada, ya que los dispositivos de mayor tamaño (por ejemplo, televisores y monitores grandes) suelen verse en la mirada primaria o ligeramente por debajo de ella [173], mientras que los dispositivos portátiles más pequeños (como los teléfonos inteligentes y las tabletas) suelen inducir un mayor ángulo de la mirada hacia abajo [174]. Un mayor ángulo de mirada hacia abajo reduce la superficie ocular expuesta [174] y puede mitigar la sequedad ocular [175,176]. Los ángulos de mirada que aumentan o ensanchan la fisura interpalpebral incrementan la superficie ocular expuesta, lo que puede diluir la capa lipídica, alterar la capa de mucina y reducir la estabilidad de la película lagrimal [174,177-179]. Un estudio descubrió que la superficie ocular expuesta al leer un libro en posición de mirada hacia abajo era de 1,2 cm<sup>2</sup>, pero al leer en una computadora se duplicaba y al leer con la mirada hacia arriba, la superficie ocular expuesta casi se triplicaba [178,179]. Se ha informado de que el efecto de reducir el ángulo de la mirada en 25° redujo significativamente el área de superficie ocular expuesta durante la tarea activa, lo que indica que puede ser preferible una posición baja del monitor [174]. A diferencia del monitor de sobremesa, cuando se lee un libro o cuando se lee en una computadora portátil, una tableta o un teléfono inteligente, a menudo se lee con la posición de la mirada hacia abajo, lo que reduce el área de exposición de la superficie ocular, y/o la necesidad de parpadear (consultar la sección 6.1.1) [174,180,181].

### 2.2.3. Frecuencia de actualización (Cuadro 1)

La frecuencia de actualización es la frecuencia con la que una serie consecutiva de fotogramas o imágenes puede aparecer en un panel de visualización. En general, cuanto más rápida es la frecuencia de refresco, más suave aparece la imagen, con una frecuencia de refresco baja se corre el riesgo de una imagen parpadeante o entrecortada [182,183]. Con las pantallas de tubo de rayos catódicos, a medida que el haz de electrones recorre rápidamente la pantalla, el fósforo se excita momentáneamente antes de desvanecerse rápidamente hasta que es excitado por el siguiente barrido del haz de trama. Esto hace que gran parte de la pantalla esté oscura en un momento dado, lo que puede dar lugar a la percepción de parpadeo. Los televisores de tubo de rayos catódicos suelen tener una frecuencia de actualización de 50/60 Hz (Europa/Estados Unidos) y utilizan un formato de vídeo entrelazado (barrido de trama alternando líneas de barrido) [184]. Aunque por lo general esto era suficiente para evitar cualquier parpadeo o molestia percibida en las pantallas de televisión, con los monitores de tubo de rayos catódicos los fósforos de menor persistencia, el uso del barrido progresivo (es decir, no entrelazado) y la menor distancia de trabajo provocaron una percepción de parpadeo de la pantalla en algunos usuarios [185]. Minimizando con éxito estas deficiencias, se desarrollaron monitores y televisores de tubo de rayos catódicos de alta frecuencia de refresco (normalmente entre 75 Hz y 120 Hz) [53]. En cambio, las pantallas de cristal líquido muestran el fotograma actual hasta que es sustituido por el siguiente. Este enfoque denominado "muestreo y retención" reduce la incidencia del parpadeo, pero puede dar lugar a una percepción de desenfoque de movimiento significativamente mayor [186]. Se han desarrollado varias técnicas para abordar el desenfoque de movimiento con las pantallas de cristal líquido, como la interpolación de movimiento [187], la inserción de fotogramas en negro [188] y la retroiluminación estroboscópica [189]. Aunque son eficaces para maximizar la calidad de la imagen, algunos usuarios parecen sensibles al parpadeo asociado [190]. Con las pantallas de cristal líquido, la frecuencia de actualización típica es de 60 Hz, aunque para proporcionar una experiencia más fluida, sobre todo para contenidos dinámicos como los videojuegos, ahora se dispone de monitores con una frecuencia de actualización más alta (75-240 Hz) [191]. El inconveniente de una pantalla con alta frecuencia de refresco es la potencia de procesamiento gráfico necesaria para mantener la frecuencia de refresco deseada. Las pantallas de óxido policristalino de baja temperatura tienen una frecuencia de refresco adaptable que puede reducirse de 60 Hz a 1 Hz cuando no se utilizan, para mitigar los problemas de duración de la batería, al tiempo que permanecen en una configuración "siempre encendida" [192].

### 2.2.4. Distancia de visión (Cuadro 1)

Las pantallas digitales están integradas en una amplia gama de dispositivos, y la distancia entre la pantalla y los ojos del usuario oscila entre 1 cm y muchos metros. En la distancia de visualización preferida influyen (i) las características de la pantalla (por ejemplo, el tamaño de la pantalla [105,157,158], el tipo de tarea [104], el tipo de pantalla [96], el tamaño de los caracteres [96,193], la luminancia de la pantalla [158,194], la combinación de colores de la pantalla [106], los reflejos [144]), (ii) las características del usuario (e. p. ej., la edad [98,195,196], la longitud de los brazos [196], la postura [197,198]) y (iii) las características ambientales (p. ej., el diseño del puesto de trabajo [199], la iluminación ambiental [96], la frecuencia de las pausas [106]). Se sabe que la distancia de visión influye en una amplia gama de parámetros clínicamente relevantes, como la astenopia [193], la postura del cuerpo/cuello [198,200], la exposición a la luz de la pantalla [194], las demandas de acomodación/convergencia [193], el tamaño de la pupila [201], la exposición de la superficie ocular [199], las características del parpadeo [144,202,203], la visión borrosa [200] y los síntomas de sequedad ocular [200]. Intuitivamente, se supone que debe evitarse una distancia de trabajo más corta, ya que tiene el potencial de aumentar el estrés acomodativo/de convergencia [200], inducir astenopia [204] y actuar como estímulo miope [205,206]; sin embargo, los estudios también han destacado la mejora del rendimiento y la sintomatología del usuario con una distancia de trabajo más corta al ver una pantalla de computadora [200].

### 2.2.5. Brillo y contraste de la pantalla

Se ha desarrollado una serie de tecnologías para optimizar el rendimiento de la iluminación, como la atenuación local de matriz completa [222], la retroiluminación con microdiodos emisores de luz [223] y las pantallas de diodos emisores de luz/diodos emisores de luz orgánicos de puntos cuánticos [224,225]. Estas pantallas de alto rango dinámico presentan una imagen con mayor realismo y profundidad, proporcionando una calidad de imagen subjetiva mejorada en comparación con la tecnología convencional [226,227]. Sin embargo, estas pantallas de alto rendimiento también

tienen el potencial de producir un deslumbramiento molesto [228], que se ha asociado a una contracción de los músculos que rodean el ojo [229], una reducción del área de la fisura palpebral, una alteración de la dinámica del parpadeo y astenopia [230]. El sol tiene una luminosidad de alrededor de 1,600 millones de  $\text{cd}/\text{m}^2$  [231], por lo que, aunque el brillo de las pantallas digitales ha aumentado con el tiempo (normalmente alrededor de 250-2000  $\text{cd}/\text{m}^2$  para una pantalla de cristal líquido) [232], sigue siendo órdenes de magnitud más tenue que muchas situaciones diurnas del mundo real. Con la tendencia a aumentar el brillo de las pantallas, es necesario seguir trabajando para comprender cómo pueden optimizarse estas pantallas para maximizar la calidad visual, minimizando al mismo tiempo cualquier impacto negativo sobre la salud de la superficie ocular.

### 2.3. Cascos de realidad virtual y aumentada

Aunque los dispositivos de realidad virtual existen desde finales de la década de 1970, su adopción como dispositivos de consumo no ha hecho más que aumentar rápidamente en los últimos años, con alrededor de 12,5 millones de unidades vendidas en todo el mundo en 2021 [233]. Un casco de realidad virtual es un dispositivo montado en la cabeza que cubre completamente los ojos y proporciona un aviso en la pantalla capaz de generar una experiencia tridimensional inmersiva [234]. Los cascos de realidad virtual suelen constar de una pantalla digital estereoscópica con óptica asociada, sonido estéreo, sensores de seguimiento montados en la cabeza y controladores de mano. El sistema de realidad virtual actualiza constantemente el campo de visión de la pantalla, basándose en los sensores de seguimiento de la cabeza, para generar una experiencia de inmersión en el entorno virtual [235]. Hasta hace poco, los sistemas de realidad virtual requerían una conexión por cable a una computadora personal de gran potencia; sin embargo, los dispositivos "todo en uno" con seguimiento de la cabeza de dentro a fuera (cámaras de los auriculares orientadas hacia el exterior para seguir la posición de la cabeza), procesamiento gráfico y batería incorporados son cada vez más populares en el espacio de consumo debido a su portabilidad, bajo coste y configuración inalámbrica [236]. Para obtener un campo de visión amplio, reducir el volumen de los auriculares y minimizar la demanda de acomodación, se necesita una lente (o una serie de lentes) entre la pantalla digital y los ojos del usuario [237]. Estas lentes se diseñan con una distancia focal de alrededor de 1-2 m [238-240], al tiempo que minimizan la distorsión y las aberraciones cromáticas. Aunque históricamente el campo de visión en los cascos de realidad virtual ha estado muy limitado [234], los últimos diseños de dispositivos montados en la cabeza permiten un campo de visión que se aproxima al del ojo humano [241].

Para proporcionar una visión clara y sin distorsiones, la pantalla de realidad virtual necesita tener (i) una resolución suficientemente alta para evitar la pixelación, (ii) una frecuencia de actualización alta (idealmente  $>90$  Hz) para garantizar que la pantalla refleja con precisión la visión prevista del usuario, y (iii) un tiempo de respuesta que sea suficiente para pasar rápidamente de un fotograma a otro. Un reto clave de la tecnología de realidad virtual existente es que la resolución angular de las pantallas actualmente está muy por debajo del límite de resolución del ojo humano [242], e incluso si las pantallas fueran capaces de alcanzar esta resolución requerida (alrededor de 6,000 píxeles de resolución monocular) la potencia de procesamiento gráfica necesaria sería prohibitiva [242]. Una posible solución es utilizar un enfoque de renderizado foveal, que rastrea los movimientos oculares del usuario y proporciona un renderizado de alta resolución en la región de la pantalla relativa a la fovea, mientras que renderiza una resolución degradada en el resto de la pantalla (asociada a la periferia retiniana) [243].

Dado el rápido aumento del uso de dispositivos de realidad virtual, se ha llevado a cabo una amplia gama de investigaciones científicas que ponen de relieve una serie de problemas relacionados con la salud, como el conflicto de vergencia-acomodación (desajuste de las señales entre la distancia de un objeto y la distancia de enfoque) [244], la cinetosis virtual (también conocida como ciberenfermedad, resultado del conflicto entre el movimiento observado y el percibido) [244,245], el impacto en la visión binocular [246], el peso/la comodidad del dispositivo (incluida la tensión en el cuello/la espalda) [150], el riesgo de caídas y la alteración de la movilidad [247-249].

Un casco de realidad virtual se coloca cerca de los ojos del usuario y crea un ambiente aislado que tiene el potencial de influir en la superficie ocular y la película lagrimal debido al aumento de la temperatura atmosférica (alrededor de  $+10^\circ\text{C}$ ) y la temperatura de la superficie ocular (alrededor de  $+0.5^\circ\text{C}$ ), aunque contraintuitivamente se ha encontrado una pequeña reducción de la humedad en

40 minutos de uso [250]. En comparación con una pantalla convencional, se ha informado de que el uso de auriculares de realidad virtual produce una mejora clínicamente significativa del grado de la capa lipídica y de la estabilidad de la película lagrimal, lo que se cree que está asociado al blindaje frente al entorno circundante y a que la temperatura más cálida en la superficie ocular favorece la secreción de meibum [250,251]. Sin embargo, otro estudio no encontró cambios significativos en la estabilidad de la película lagrimal ni en la altura del menisco tras el uso de auriculares de realidad virtual, con observaciones similares tras el uso de computadoras portátiles [252]. Actualmente no está claro si el uso influye en las características del parpadeo [251,253], aunque una inmersión más profunda en la realidad virtual [254] y el cibermalestar [255,256] aumentan la tasa de parpadeo. Varios estudios han indicado que los cascos de realidad virtual pueden mejorar los signos clínicos de la película lagrimal [250-252], y esto puede incluso ser potencialmente útil como modificación del entorno para tratar las enfermedades del ojo seco, aunque aún no se ha investigado específicamente.

Un casco de realidad aumentada es un dispositivo montado en la cabeza que superpone objetos virtuales generados por computadora sobre la vista del mundo real del usuario [257]. En su forma más sencilla, este dispositivo puede ser un monitor frontal, como los lentes de Google, en la que una pequeña pantalla digital se ve indirectamente a través de un prisma semisilverizado montado en una montura de lentes [258]. Los sistemas de realidad aumentada real más complejos, como las Microsoft HoloLens y los auriculares de realidad aumentada Magic Leap, mapean el mundo real utilizando tecnología de escaneo de la habitación en 3 dimensiones (normalmente mediante sistemas de proyección infrarroja montados en los auriculares) en combinación con el seguimiento tridimensional de los auriculares para garantizar que el sistema pueda alinear los objetos virtuales con los objetos del mundo real. Se ha propuesto una amplia gama de tecnologías ópticas para las pantallas de los auriculares de realidad aumentada, incluidas las guías de ondas holográficas, difractivas y reflectantes [242]. Para permitir que la imagen generada por computadora se vea fácilmente cuando se superpone a la del mundo real, se suele utilizar una lente/pantalla tintada para atenuar la iluminación del mundo real. Aunque la tecnología de auriculares de realidad aumentada está disponible en el mercado desde hace varios años, estos sistemas se han centrado normalmente en soluciones para empresas, debido principalmente a su elevado coste, las limitaciones de la pantalla (baja frecuencia de actualización/alta latencia/campo de visión limitado/escaso rendimiento en exteriores), el peso/volumen de los auriculares y los problemas para cartografiar rápidamente el entorno circundante [257], además de las preocupaciones más generales relacionadas con la seguridad asociada a las modificaciones de la realidad [257] y los problemas de privacidad [259]. También ha habido informes en la literatura relacionados con síntomas similares a los de la cinetosis [260], que se cree que están causados por múltiples factores, entre ellos (i) el desajuste visual-vestibular y (ii) las características de la pantalla, como la baja frecuencia de fotogramas y el mayor campo de visión [261]. Aunque las pruebas de la investigación sobre auriculares de realidad virtual no suelen poner de relieve efectos clínicos significativos a corto plazo tras el uso de auriculares en el ojo adolescente, ningún estudio ha investigado el impacto a largo plazo del uso de auriculares de realidad aumentada, por lo que se requiere más investigación.

## 3. Los retos oculares de un entorno digital

La revolución tecnológica digital ha mejorado la comunicación, ha aumentado el acceso a la información y ha permitido una mayor movilidad. En el pasado, la tecnología informática, desde las computadoras centrales, sólo estaba al alcance de unas pocas personas, mientras que los dispositivos portátiles están ahora al alcance de la mayor parte de la población mundial. Por lo tanto, las tareas que las personas realizan habitualmente han cambiado sustancialmente, lo que dificulta una comparación directa con la tecnología no digital, pero existen algunas características específicas del entorno digital (como se describe en la sección 2) que pueden suponer un reto para la superficie ocular.

### 3.1. Resolución de pantalla y frecuencia de actualización

Una menor resolución de la pantalla puede afectar a los tiempos de reacción y a las duraciones de fijación [166]. Las preocupaciones iniciales sobre la mala calidad de las pantallas [21] se han superado en gran medida. No obstante, una encuesta reciente reveló que una resolución de pantalla deficiente estaba asociada a los síntomas oculares notificados, al igual que una distancia de trabajo más corta [262]. Todavía son pocos los monitores de cerca que alcanzan

Se recomienda una resolución de 0,092 mm de separación entre píxeles para mostrar con precisión las imágenes sin solapamiento [263]. La distancia de trabajo suele ser menor con un teléfono móvil que con una tarea típica en papel [210]. Los estudios han demostrado que la frecuencia de actualización de la pantalla puede afectar a la acomodación, la frecuencia de parpadeo y la velocidad de lectura [264], pero no a los movimientos sacádicos ocular[265].

### 3.2. Dimensiones/tipo de dispositivo

La curvatura de la pantalla afecta a la fatiga visual, siendo óptima una curvatura de unos 600 mm [156]. Tanto el mayor tamaño de la pantalla como las imágenes tridimensionales aumentan el tiempo de búsqueda [160] y el estrés visual [266]. A pesar del menor tamaño, una comparación de una tarea similar en un asistente digital personal, un lector de libros electrónicos y una computadora portátil reveló que la fatiga visual era significativamente mayor cuando los participantes leían en el asistente digital personal en comparación con las otras dos pantallas, aunque la velocidad de lectura y la tasa de precisión eran similares [267].

### 3.3. Iluminación de la pantalla y reflejos

La iluminación externa puede afectar negativamente al confort visual del usuario digital, así como a la función oculomotora y a la legibilidad de las tareas. La luminancia del campo visual circundante influye en la amplitud de la acomodación y en los síntomas de fatiga visual [262,268]. La iluminación de la pantalla también puede influir en la eficacia del trabajo y el confort visual [269]. Los reflejos de la pantalla provocan una distancia de visión más corta y variable y causan fatiga visual [270], de forma similar al papel electrónico [271].

### 3.4 Factores humanos

Los dispositivos digitales suelen colocarse de forma diferente a las tareas similares no digitales (consultar la sección 2.2.5), lo que puede provocar fatiga visual [262]. Se ha observado que pasar más tiempo frente a una pantalla provoca síntomas de sequedad más graves [272], aunque esta métrica no capta la naturaleza pasiva o cognitivamente exigente de la tarea. La lectura de textos más pequeños también aumenta la fatiga visual [159,160,273].

## 4. Epidemiología

Diversos estudios han examinado la prevalencia de la fatiga visual digital en varios países (Cuadro 2). Se estimó que la prevalencia global de la fatiga visual digital era del 70.7%, pero oscilaba ampliamente entre el 31.9% de los trabajadores de banca en Italia [274] y el 97.3% de los estudiantes universitarios en Arabia Saudí [275]. Estas cifras ponen de manifiesto la elevada prevalencia de la fatiga visual digital en todo el mundo y la importancia de su impacto global. Sin embargo, el amplio rango de prevalencia de la tensión ocular digital refleja en parte la actual falta de una definición unificada y de acuerdo sobre los criterios de diagnóstico de la afección (consultar la sección 5).

La mayoría de los estudios sobre la prevalencia mundial de la fatiga visual digital se basan únicamente en respuestas subjetivas a cuestionarios, distribuidos electrónicamente por correo electrónico o a través de las redes sociales, lo que en sí mismo puede dar lugar a un sesgo de selección. Además, la mayoría de los cuestionarios están hechos a medida y enumeran diversos síntomas relacionados con la tensión ocular digital propuesta que se han señalado en estudios anteriores, preguntando por su presencia, frecuencia, intensidad, o por información sobre los tres aspectos. Los autores suelen traducir estos cuestionarios de encuesta a la principal lengua hablada del país, por lo que carecen de validación y no tienen en cuenta las percepciones culturales. Como resultado, la fatiga visual digital se diagnostica de forma incoherente entre estos estudios, a menudo basándose en la presencia de un único síntoma, ocasionalmente restringido a una determinada frecuencia o intensidad, e informado como la prevalencia en una determinada región y demografía. Esta diversidad de informes entre estudios dificulta la comparación de la prevalencia de la tensión ocular digital entre países.

El Cuestionario del Síndrome Visual Informático (CVS-Q) está actualmente el cuestionario más utilizado, validado y diseñado específicamente para el diagnóstico de la fatiga visual digital [276]. Se ha utilizado para

## Cuadro 1

Tamaño típico de la pantalla, resolución (píxeles horizontales x verticales), frecuencia de actualización y distancia de visualización para una gama de dispositivos de visualización digital. No se identificaron publicaciones sobre señalización digital y fatiga visual. Nota: 1080p = 1920 × 1080 píxeles, mientras que 4 k = 3840 × 2160 píxeles.

Dispositivo digital	Tamaño en diagonal (pulgadas)	Resolución (píxeles)	Tasa de refresco (Hz)	Distancia de visualización (cm)
Reloj inteligente	1-2	320 × 320-448 × 368	1-60	20 - 40 [165,207]
Auriculares de realidad virtual	3-6	1440 × 1280-3840 × 2160	60-120	Real 3-6 (Distancia de visualización aparente =) 100-200) [208]
Consola portátil	3-7	240 × 160-1280 × 720	50-60	15 - 35 [209]
Teléfono inteligente	4-7	1334 × 750-2778 × 1284	60-120	20 - 50 [157,194, 196-198,204, 210-212]
Lector electrónico	6-10	600 × 800-1072 × 1448	n/a	30 - 60 [96,157, 195,213,214]
Tableta	5-13	800 × 600-2732 × 2048	60-120	30 - 60 [193,213, 215,216]
Computadora portátil	10-17	1920 × 1080-3840 × 2160	60-120	35 - 70 [144,199]
Computadora monitor	19-32	1920 × 1080-3840 × 2160	60-240	45 - 80 [101-106]
Televisión	19-105	640 - 480-3840 x 2160	60-120	150 -600 [101, 158,217-221]
Libro de papel	7-13	n/a	n/a	25 - 55 [101,157, 213]

determinar la prevalencia de la fatiga visual digital en 12 estudios incluidos en el cuadro 2. Cuatro de estos estudios se realizaron en España, lo que no es sorprendente, ya que el cuestionario se desarrolló allí y la versión original está en español. Los datos parecen sugerir que la fatiga visual digital es más prevalente en estudiantes universitarios [277] y en operadores de terminales informáticos presbitas (76.6% y 74.3%, respectivamente) [278], en comparación con los trabajadores sanitarios [279] y de oficina (56.9% y 51.0%, respectivamente) en España [280]. Sin embargo, estos resultados requieren una interpretación cuidadosa. Muchos de los síntomas que se encuestan en el CVS-Q se superponen con los síntomas de la enfermedad del ojo seco, como el ardor, la sensación de cuerpo extraño, el lagrimeo, el enrojecimiento ocular, el dolor ocular y la sequedad. Como tales, los numerosos factores de confusión que se aplican a la enfermedad del ojo seco también influirían en la puntuación del CVS-Q, al igual que la alergia ocular (síntomas de picazón) y la infección, que pueden causar síntomas similares. Además, la edad, el uso de lentes de contacto, las comorbilidades sistémicas y los factores ambientales no siempre se tienen en cuenta en estos estudios epidemiológicos [281].

En un amplio estudio basado en la población en el que se investigó la asociación entre las personas con síntomas de sequedad ocular y la ocupación, se observó que los profesionales y los trabajadores de apoyo administrativo tenían un mayor riesgo de padecer ojo seco en comparación con otras ocupaciones. Sin embargo, este mayor riesgo dejó de ser evidente tras corregir 45 comorbilidades asociadas al ojo seco, siendo el uso de lentes de contacto el factor de confusión más importante, seguido de las comorbilidades sistémicas. Tras corregir las comorbilidades y los rasgos asociados al ojo seco, los trabajadores de la construcción y los trabajadores del metal y la maquinaria mostraron el mayor riesgo de ojo seco sintomático, lo que quizá pone de relieve el impacto de la exposición al polvo, los productos químicos y las toxinas, así como las influencias climáticas en el desarrollo de los síntomas de sequedad [282].

Las limitaciones en la selección de la muestra de población, la heterogeneidad en los criterios de diagnóstico de la tensión ocular digital, la falta de control de diversas variables y los factores culturales/lingüísticos, explican gran parte de la

**Cuadro 2**  
Prevalencia global de la fatiga visual digital  *sintomática* O síndrome de visión por computadora.

País	Referencia	Población	N =	Criterios diagnósticos	Prevalencia (%)
Brasil	[283]	Operadores de centros de llamadas	476	Encuesta personalizada	54.6
China	[284]	Escolares (6-18 años)	2005	CVS-Q	77.0
	[285]	Estudiantes de medicina	137	CVS-Q	63.5
Egipto	[262]	Estudiantes de medicina	733	CVS-F3	87.9
	[286]	Profesionales de las tecnologías de la información	108	CVS-Q	82.4
Etiopia	[287]	Trabajadores de banca	304	Encuesta personalizada	73.0
	[288]	Operadores de terminales informáticos	607	Encuesta personalizada	69.5
	[289]	Secretarías que trabajan en oficinas ministeriales	455	Encuesta personalizada	68.8
	[11]	Instructores universitarios	416	Encuesta personalizada	70.4
	[290]	Trabajadores de banca	359	Encuesta personalizada	74.6
Ghana	[291]	Personal administrativo de la universidad	200	CVS-Q	51.5
	[292]	Trabajadores de banca	139	Poco claro	71.2
Italia	[274]	Trabajadores de banca	212	Encuesta personalizada	31.9
	[293]	Operadores de terminales informáticos	190	Encuesta personalizada	46.2
India	[294]	Operadores de terminales informáticos	419	Encuesta personalizada	46.3
	[295]	Estudiantes de medicina e ingeniería	416	Encuesta personalizada	80.3
	[296]	Estudiantes de medicina e ingeniería	236	Encuesta personalizada	71.6
	[297]	Estudiantes de medicina	463	Encuesta personalizada	77.5
	[298]	Adultos	407	Encuesta personalizada	90.4
	[299]	Niños	217	CVS-Q	50.2
	[300]	Escolares (5-18 años)	654	CVSS17	92.8
Japón	[301]	Estudiantes adultos de clases en línea, profesores de clases en línea y población general	941	CVS-Q	50.6 en estudiantes
	[302]	Operadores de terminales informáticos	561	Encuesta personalizada (ojo seco)	76.5
Jordania	[303]	Operadores de terminales informáticos	369	Encuesta personalizada	59.1
	[304]	Estudiantes universitarios	382	CVS-Q	94.5
Jamaica	[176]	Estudiantes universitarios	409	Encuesta personalizada	67.0 ( <sup>a</sup> queja de fatiga visual)
Corea	[305]	Participantes adolescentes (14-18 años)	715	Encuesta personalizada	63.6 <sup>b</sup>
Malasia	[306]	Estudiantes universitarios	795	Encuesta personalizada	89.9
México	[307]	Oficinistas	108	CVSS17	93.5 (excluyendo CVS nivel 1)
Nepal	[308]	Trabajadores de TI	263	Encuesta personalizada	82.5
	[309]	Pacientes que acuden a la clínica oftalmológica	70	Encuesta personalizada	95.7
Perú	[310]	Estudiantes universitarios de postgrado	106	CVS-Q	62.3
Rumanía	[311]	Estudiantes de medicina	420	Encuesta personalizada	86.1 ( <sup>a</sup> queja más común: cansancio ojos/tensión ocular)
Arabia Saudí	[312]	Estudiantes de medicina	634	Encuesta personalizada	72.4
	[313]	Estudiantes de medicina	713	Encuesta personalizada	51.5 (ojo seco)
	[275]	Estudiantes universitarios de ciencias de la salud	334	Encuesta personalizada	97.3
	[314]	Radiólogos	198	Encuesta personalizada	50.5
	[315]	Adultos	690	Encuesta personalizada	77.6
	[316]	Adultos	1939	Encuesta personalizada	78
	[317]	Personal médico		Encuesta personalizada	81.2
España	[280]	Oficinistas	426	CVS-Q	51.0
	[318]	Usuarios de unidades de visualización de vídeo con pantallas planas	116	Encuesta a los clientes	72
Sri Lanka	[279]	Personal sanitario	343	CVS-Q	56.9
	[278]	Operadores de terminales informáticos presbicia	109	CVS-Q	74.3
	[320]	Adultos	730	Encuesta personalizada	66.6
	[277]	Estudiantes universitarios	244	CVS-Q	76.6
	[321]	Operadores de terminales informáticos	2210	Encuesta personalizada	67.4
Árabe Unido Emiratos	[28]	Estudiantes de medicina	471	Encuesta personalizada	43.9 ( <sup>a</sup> queja más común)
EE.UU.	[322]	Pacientes que acuden a clínicas de optometría	324	Encuesta personalizada	65.0 ( <sup>a</sup> síntoma más común: fatiga visual)
	[29]	Oficinistas	520	Encuesta personalizada [319]	40.0 ( <sup>a</sup> síntoma más común: ojos cansados)
	[319]	Oficinistas	638	Encuesta personalizada	77.0 ( <sup>a</sup> síntoma más común: ojos cansados)
	[23]	Estudiantes universitarios	729	Encuesta personalizada	91.3

Cuestionario del síndrome visual informático (CVS-Q) [276]; Escala de síntomas visuales informáticos (CVSS17) [323]; Síndrome visual informático: Forma 3 (CVS-F3) [262].

<sup>a</sup> *Sintomáticos*: astenopia (fatiga visual, cansancio ocular, molestias, ojos cansados y doloridos), relacionados con la superficie ocular (enfermedad del ojo seco, ojos llorosos, relacionados con las lentes de contacto), problemas visuales (diplopía, visión borrosa) y extraoculares o musculoesqueléticos (muñeca, cuello, hombros y brazos).

<sup>b</sup> Puntuación de los síntomas oculares igual o superior a 3.

variabilidad en la prevalencia notificada de la fatiga visual digital en todo el mundo y limita la capacidad de comparar la prevalencia entre distintos países. La definición unificada y los criterios diagnósticos propuestos en este informe ayudarán a estandarizar y mejorar la calidad de los futuros estudios epidemiológicos.

### 5. Diagnóstico

La adopción de la definición de "tensión ocular digital describe el desarrollo o la exacerbación de signos y/o síntomas oculares recurrentes".

relacionados específicamente con la visión de dispositivos digitales" (consultar la sección 1), un diagnóstico debe poder diferenciar un cambio en los síntomas y/o signos, que se produzcan en un entorno digital, pero no en uno no digital equivalente, realizado durante la misma duración que supere el ruido de las medidas repetidas [324]. Como tales, estos síntomas/signos disminuirán cuando cese el uso de dispositivos digitales y la afección no se deba a una patología, pero podría dañar la superficie ocular si no se controla. Aunque el trastorno del ojo seco y los problemas de visión binocular se asocian al uso de pantallas digitales, los estudios no siempre dejan claro si los participantes también habrían informado de síntomas similares o mostrado signos, para una tarea no digital

de intensidad y duración similares. Debe tenerse en cuenta que el impacto de los dispositivos digitales en los signos y síntomas de sequedad puede diferir en el mismo individuo que realiza tareas similares [110].

Como se destaca en la sección 4, los intentos anteriores de diagnosticar la fatiga visual digital basándose en la sintomatología han utilizado en gran medida cuestionarios no validados, como el síndrome visual informático: Formulario 3 (CVS-F3) [262], y/o se han basado en la frecuencia de aparición de los síntomas [262,274,325], en su intensidad [326] o en ambas [276,327,328]. Los síntomas típicos incluyen ardor ocular, dolor ocular, dolor de cabeza, enrojecimiento ocular, fotofobia, lagrimeo, parpadeo repetido/frecuente, pesadez de párpados, picazón ocular, visión borrosa de lejos y de cerca, visión doble, fatiga visual y sensación de cuerpo extraño ocular. Dado que sólo se requiere un síntoma, se ha notificado una prevalencia de hasta el 97% (consultar el cuadro 2). El cuestionario de tensión ocular digital (CVS-Q) se perfeccionó mediante el análisis de Rasch, incluía 16 síntomas asociados a la tensión ocular digital y puntuaba tanto la frecuencia como la gravedad (cada una en una escala de 0-2), se multiplicaban entre sí y se suman para una puntuación total de 36, con un valor de corte de  $\geq 6$  (sensibilidad 75.0% y una especificidad del 70.2%) [276]. Un estudio más reciente lo confirmó e informó de una sensibilidad del 80.0% y una especificidad del 83.1% utilizando un punto de corte de  $\geq 7$  [329]. La escala de síntomas de visión informática (CVSS17) [323] también se ha refinado y escalado mediante el análisis de Rasch y consiste en 17 elementos que exploraban 15 síntomas diferentes, pero con entre dos y cuatro categorías de respuesta. Aunque tanto el cuestionario CSV-Q como el CVSS17 resultaron tener propiedades psicométricas aceptables, ninguno exploraba los síntomas con tareas no digitales y ambos estaban limitados por no tener un patrón de referencia para la comparación; el primero elegía arbitrariamente la aparición de al menos un síntoma, dos o tres veces por semana y el segundo correlacionaba los resultados con un cuestionario de malestar visual.

Además de los síntomas, algunos investigadores han exigido signos clínicos como parte de sus criterios diagnósticos, como la medición de la agudeza visual, el error refractivo y la acomodación objetiva [330], la hiperemia conjuntival y/o las anomalías multifocales del electroretinograma [262]. Sin embargo, estos criterios son vagos y no se han articulado valores de corte ni algoritmos para combinar las métricas indicadas. Varios trabajos han propuesto signos de diagnóstico de la fatiga visual digital [331]. La frecuencia crítica de fusión del parpadeo fue el único parámetro de la función visual que disminuyó significativamente tras una tarea visual digital, pero no se examinó una tarea similar no digital [331]. Un estudio más reciente no pudo respaldar la frecuencia crítica de parpadeo como medida objetiva de la fatiga visual relacionada con los dispositivos digitales [332]. Aunque la frecuencia de parpadeo disminuye con las tareas digitales [333], un estudio cuidadosamente controlado demostró que lo mismo ocurría con una tarea similar de intensidad cognitiva en papel [25]. No se ha observado que el uso de lentes de contacto blandas modernas aumente la frecuencia o la gravedad de los síntomas de tensión ocular digital [23]. Se ha descubierto que el flujo sanguíneo del orbicular del ojo, pero no la carga, está relacionado con el dolor ocular en un entorno digital [24]. Se ha observado que la facilidad acomodativa está reducida en individuos con fatiga visual digital [334]. Los usuarios intensivos de computadora, en comparación con los menos frecuentes, suelen presentar mayor sintomatología, manchas, inestabilidad lagrimal, caída de las glándulas de Meibomio y pérdida de células caliciformes, aunque un volumen lagrimal similar [307,335,336]. Sin embargo, ninguno de estos estudios aporta pruebas sólidas de que alguno de estos signos sea diagnóstico.

Por lo tanto, actualmente, no existe ningún algoritmo robusto para diagnosticar la tensión ocular y muchas personas "diagnosticadas" de tensión ocular digital probablemente padecen una enfermedad de ojo seco, un defecto refractivo no corregido/sólo parcialmente corregido y/o una anomalía de la visión binocular, cada una de las cuales tiene sus propios criterios de diagnóstico y estrategias de tratamiento establecidas y basadas en pruebas. Para diagnosticar la fatiga visual digital, el individuo debe notificar el desarrollo o la exacerbación de síntomas oculares (y posiblemente signos como un enfoque más lento) relacionados específicamente con el uso de dispositivos digitales, como por ejemplo durante la lectura de un documento. Hasta que se disponga de más pruebas, es necesario contrastar con un paciente que desarrolla o tiene un aumento de los síntomas o signos oculares durante el uso de un dispositivo digital, de una forma que no ocurre en la misma medida con una tarea no digital equivalente.

## 6. Efectos/mecanismo de acción

Los síntomas de la tensión ocular digital son transitorios y no ponen en peligro la vista, pero producen molestias importantes, crónicas y frecuentes que pueden afectar a la calidad de vida y reducir el rendimiento laboral y escolar (consultar la sección 7). Los síntomas y signos asociados a la fatiga visual digital específicos del ojo pueden dividirse, a grandes rasgos, en los relacionados con la superficie ocular y el desarrollo de síntomas de sequedad, y los asociados a las alteraciones visuales y acomodativas asociadas a los errores de refracción no corregidos, la acomodación reducida y las anomalías oculomotoras como la convergencia deficiente, las disparidades de fijación o las forias no compensadas. Además, existen síntomas extraoculares asociados a la ergonomía como el dolor de espalda, cuello y hombros [16, 22,29,337,338]. Los síntomas relacionados con la superficie ocular y la enfermedad del ojo seco incluyen sensación de cuerpo extraño, ardor, sequedad, irritación, lagrimeo, visión borrosa, sensibilidad a la luz, deslumbramiento y dolor de cabeza. Los síntomas visuales incluyen visión borrosa de lejos, intermedia o de cerca, lentitud en el cambio de enfoque, diplopía, tensión ocular, sensibilidad a la luz, incomodidad, fatiga, cansancio o debilidad ocular, lagrimeo, dolor de cabeza y somnolencia al realizar una tarea visual [16,22,29,337-341]. La visión borrosa tras el uso de la computadora y las dificultades para reenfoque están más asociadas a las alteraciones visuales y a la acomodación, mientras que la sensación de ojos cansados, tensión ocular, malestar, ojos irritados y sequedad están más asociados a las alteraciones de la superficie ocular y a la enfermedad del ojo seco [29]. Estos síntomas característicos de la enfermedad del ojo seco y las alteraciones de la acomodación pueden desarrollarse o empeorar al utilizar dispositivos digitales [22,29, 337,342].

Exposición a dispositivos digitales y riesgo de desarrollar fatiga visual digital, refleja el espectro de actividades cotidianas centradas en la tecnología en la vida moderna; las actividades sociales y laborales suelen implicar el uso de teléfonos inteligentes [27,82,339,342], y la mayoría de los entornos laborales requieren el uso habitual de pantallas digitales, como una computadora de sobremesa o portátil en un entorno de oficina, el teletrabajo o una combinación de trabajo en casa y en la oficina [29,110,307,336,343-345]. El uso de dispositivos es omnipresente en las aulas modernas, tanto si se imparten como enseñanza en línea o como educación presencial convencional [285,299-301,346-348]. Los dispositivos digitales son cada vez más esenciales para las tareas de lectura (como las tabletas o los lectores electrónicos) [109], y con frecuencia son un mecanismo de entretenimiento con videojuegos [27, 349], entre otros. La exposición a los dispositivos digitales se produce en ambos sexos y en cualquier grupo de edad, desde niños [27,299,300,346-348], pasando por estudiantes universitarios [275,285,301], hasta adultos en edad laboral [29,302,307,336,339, 344] y ancianos [343]. Cada actividad y edad presenta retos individuales en el uso de dispositivos digitales y la consiguiente presencia y gravedad de la fatiga visual digital.

La fatiga visual digital, los síntomas pueden aparecer tan pronto como 20 min después de iniciar el uso del dispositivo digital [350]. Los estudios han informado del desarrollo de la fatiga visual digital a la 1 h [346], 2 h [351], 4 h [336,340,342], 5 h [299,313] y después de un día de trabajo [302,352]. Un estudio encontró un mayor riesgo de síntomas de sequedad en los trabajadores informáticos que utilizaban una computadora durante más de 8 h al día (cociente de probabilidades = 1.94; confianza del 95 intervalo (IC), 1.22-3.09) [302]. El aumento de la fatiga visual digital parece ser proporcional al aumento de las horas diarias de uso de dispositivos digitales [29, 299,301,302,313,340,342,346].

Otros estudios han descubierto que 4 o 5 h de uso continuado de dispositivos digitales podría ser un tiempo crítico para el desarrollo de la fatiga visual digital. Un estudio descubrió que 4 h de uso continuado de teléfonos inteligentes podría ser una duración crítica de tiempo frente a la pantalla para inducir la tensión ocular digital, ya que se observó un aumento significativo de los síntomas medidos con el cuestionario del Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular (OSDI), así como una disminución significativa del tiempo de ruptura lagrimal no invasiva, y un aumento del marcador de estrés oxidativo tisular hexanoil-lisina en la película lagrimal y de las especies reactivas de oxígeno en la superficie ocular [342]. De forma similar, un estudio descubrió que más de 4 h de exposición diaria al computadora provocaban una disminución del tiempo de ruptura lagrimal y un aumento de los síntomas evaluados por el Índice de Enfermedades de la Superficie Ocular, las manchas en la córnea y la pérdida de glándulas de Meibomio [336]. Los estudiantes universitarios que utilizan dispositivos digitales durante más de 4 h al día [340], o más de 5 h al día

[313] tenían un mayor riesgo de desarrollar síntomas de fatiga visual digital (cociente de probabilidades = 1.52; IC 95%: 1.07, 2.16), como dolor de cabeza (66%), sequedad síntomas (51%) y visión borrosa (44%) [313]. Un estudio multivariante de escolares reveló que el uso de un dispositivo digital >5 h al día era un factor de riesgo independiente de la fatiga visual digital [299]. También se observó un efecto acumulativo con el aumento de la gravedad y/o la prevalencia de tensión ocular digital tras más años de trabajo con dispositivos digitales [307, 353]. Del mismo modo, un uso más prolongado, persistente y acumulativo de los teléfonos inteligentes a lo largo de la vida se ha asociado a una mayor prevalencia de síntomas oculares [305].

### 6.1. Mecanismos fisiológicos de acción para el desarrollo de la fatiga visual digital

Los principales mecanismos implicados en el desarrollo de la fatiga visual digital son: (i) anomalías del parpadeo que inducen alteraciones de la superficie ocular y de la película lagrimal; (ii) deficiencias subyacentes en la visión/acomodación/función oculomotora que inducen alteraciones visuales de visión borrosa, astenopía, dificultades de enfoque y acomodación, disparidades de fijación, anomalías de vergencia y mala convergencia; y (iii) alteraciones extraoculares como la ergonomía y la iluminación. Además de éstos, existen factores incitantes y exacerbantes que también pueden contribuir al desarrollo de la fatiga visual digital (Fig. 4) [16,22,337].

#### 6.1.1. Anomalías del parpadeo y exposición de la superficie ocular

Al utilizar dispositivos digitales, las personas manifiestan anomalías en el parpadeo y un mayor riesgo de exposición de la superficie ocular, como una menor frecuencia de parpadeo, un parpadeo incompleto y un mayor ángulo de mirada. Estas alteraciones pueden inducir cambios en la superficie ocular y síntomas de sequedad [354]. El parpadeo es esencial para mantener la homeostasis de la superficie ocular manteniéndola húmeda e hidratada, minimizando la exposición corneal, ayudando al drenaje lagrimal, reduciendo la acumulación de mediadores inflamatorios en el prisma lagrimal y ayudando a la distribución de mucinas y secreciones de las glándulas de Meibomio para promover el mantenimiento de la estabilidad de la película lagrimal [355-358].

Una tasa de parpadeo reducida genera inestabilidad en la película lagrimal, lo que puede favorecer el desarrollo de síntomas de sequedad [21]. Se ha observado una reducción de la tasa de parpadeo en los usuarios de dispositivos digitales en comparación con los usuarios de textos impresos [178,359-362]. Un estudio encontró una tasa de parpadeo reducida de 3,6 parpadeos/min al leer en la pantalla de una computadora en comparación con 18,4 parpadeos/min en reposo antes de utilizar la computadora [360]. Otro estudio comparó la tasa de parpadeo mientras se leía y encontró una tasa de parpadeo reducida en oficinistas de sólo 7 parpadeos/min cuando leían en una pantalla de computadora, en comparación con 22 parpadeos/min cuando estaban relajados, o 10 parpadeos/min cuando leían un libro [178]. Sin embargo, la lectura durante 20 minutos en una pantalla de computadora frente a un texto impreso que se ajustaba en cuanto al tamaño del texto, el contraste y de luminancia y ángulo de visión similares, no produjo diferencias en la tasa de parpadeo entre los dos tipos de medios [25], lo que indica que las diferencias en las demandas cognitivas pueden ser más importantes que el medio a la hora de determinar una reducción de la tasa de parpadeo; no obstante, el parpadeo incompleto fue mayor al leer en dispositivos digitales [25,363]. Otro estudio en trabajadores de oficina encontró una reducción del resultado de la prueba de Schirmer que era más evidente cuando aumentaba el tiempo de pantalla [364]. La tasa de parpadeo también puede reducirse cuando la imagen o la fuente son de baja resolución [365], cuando el tamaño de la fuente es pequeño, cuando la imagen es de bajo contraste o cuando hay un mayor deslumbramiento [230,333]. A diferencia de lo que ocurre con las computadoras [25], los estudios han descubierto que la tasa de parpadeo se reduce cuando se utiliza una tableta (con una pantalla digital más pequeña) en comparación con una página impresa, incluso cuando se igualan las características del tamaño del texto, la distancia de trabajo y el número de páginas leídas [109,180].

Se ha sugerido que la fatiga visual digital tiene más probabilidades de ser causada por parpadeos incompletos que una reducción de la frecuencia de parpadeo [363]. El parpadeo incompleto también se asocia a la fatiga visual digital [25,333, 346,363]. Se cree que el mecanismo comienza con una mala distribución de las lágrimas por la superficie ocular, sobre todo en el tercio inferior de la córnea. Esta distribución incompleta de la película lagrimal produce alteraciones

en la mucina y adelgazamiento de la capa lipídica y acumulación de mediadores inflamatorios debido a la reducción del aclaramiento lagrimal y estos cambios provocan inestabilidad lagrimal y erosiones corneales [174,180,333,350, 358,360,361,366-368]. La lectura desde dispositivos digitales (ya sean computadoras o dispositivos portátiles) induce porcentajes más elevados de parpadeo incompleto que la lectura de textos impresos [25,180,346,366]. Un estudio descubrió que la lectura desde una computadora, una tableta o un texto impreso producía una reducción de la tasa de parpadeo; sin embargo, los dispositivos digitales producían un aumento significativamente mayor de la tasa de parpadeo incompleto que el observado al leer desde un texto impreso (14,5% frente a 5% respectivamente) [180]. Un estudio sobre adultos jóvenes que leían desde teléfonos inteligentes descubrió que el número de parpadeos incompletos por minuto aumentaba de una mediana de 6 veces durante el primer minuto a 15 veces a los 60 min [346].

Un factor importante en el desarrollo de la fatiga visual digital es el nivel de exigencia cognitiva y visual necesario para realizar la tarea, así como la velocidad a la que se presenta la información visual [350]. Las actividades que requieren grandes demandas cognitivas y grandes demandas visuales, como los videojuegos o los materiales difíciles de leer o comprender, reducen la tasa de parpadeo, porque requieren tiempos de fijación más largos para poder realizar la tarea [333,350,369]. Un estudio simuló condiciones de oficina para comparar la lectura pasiva con actividades activas de lectura y escritura en la computadora y descubrió que la tasa de parpadeo durante la tarea activa era un 69% menor que con las tareas pasivas; una vez finalizada la prueba activa, se producía un período compensatorio de alta tasa de parpadeo, lo que subraya que el intercambio de tareas laborales con diferentes demandas cognitivas podría ser importante para controlar la fatiga ocular digital [174]. Al igual que ocurre con la reducción de la tasa de parpadeo, el aumento de la tasa de parpadeo incompleto puede ser un mecanismo subconsciente utilizado para intentar mantenerse concentrado en la tarea, evitando las interrupciones mediante la supresión del parpadeo normal espontáneo [25,180,350,367,370].

#### 6.1.2. Alteraciones de la superficie ocular y de la película lagrimal

Muchos síntomas típicos de la fatiga visual digital se han asociado a alteraciones de la superficie ocular y de la película lagrimal, como inestabilidad de la película lagrimal, aumento de la velocidad de evaporación de la lágrima, reducción de la producción y el volumen de lágrima acuosa, disfunción de las glándulas de Meibomio, alteraciones de las capas lipídicas y de mucina de la película lagrimal, tinción corneal y conjuntival, enrojecimiento bulbar ocular, hiperosmolaridad de la lágrima y aumento de los marcadores inflamatorios [342,343,352]. Sin embargo, es habitual encontrar discrepancias en los hallazgos entre estudios y entre distintos dispositivos digitales, que pueden atribuirse al tipo de dispositivo (consultar la sección 2.1), la ergonomía y la demanda cognitiva de la tarea. En general, parece que el uso de la computadora puede inducir más síntomas y signos que el uso del teléfono inteligente [110,174,177, 339,342,343,350].

La película lagrimal acuosa puede verse alterada por el uso de dispositivos digitales, con una reducción de la producción de lágrimas (confirmada con la prueba de Schirmer y la altura del menisco lagrimal) [342,352,353,364]. Las probabilidades de tener una prueba de Schirmer reducida eran mayores en los individuos con un mayor número total de años trabajando con computadoras (4 años frente a 8-12 años cociente de probabilidades: 2.49, IC 95%: 1.02-6.55, y >12 años cociente de probabilidades: 3.61, IC 95%: 1.39-10.26) y más horas al día dedicadas al trabajo con computadoras (<2 frente a >8 h cociente de probabilidades: 4.27; IC 95%: 1.47-13.66; ajustado por edad y sexo) [110, 353]. Sin embargo, existen hallazgos contradictorios, ya que algunos estudios no demuestran una asociación entre el tiempo total acumulado de exposición a dispositivos digitales y los resultados de la prueba de Schirmer [307], o no hay alteraciones en la altura del menisco lagrimal tras leer durante 1-4 h en un teléfono inteligente y en una computadora [336,342,346], o no hay diferencias significativas en la altura del menisco lagrimal y los resultados de la prueba de Schirmer tras leer utilizando papel frente a una tableta [111,371].

Se ha observado que la estabilidad de la película lagrimal se reduce con las tareas digitales [110,302,307,336,342,350,352,368,372]. Un estudio informó de que el 97% de los usuarios de computadora tenían una mala estabilidad de la película lagrimal (tiempo de ruptura lagrimal <10s) [307], mientras que otro informó de un 78% (<5s) [302]. Reducciones significativas en la estabilidad de la película lagrimal se encontraron con el uso diario de la computadora >4 h frente a los que lo utilizaban <4 h [336]. Además, el efecto acumulativo del tiempo total de exposición al computadora se correlacionó negativamente con la lágrima estabilidad de la película lagrimal [307,336]. La reducción de la estabilidad de la película lagrimal se ha

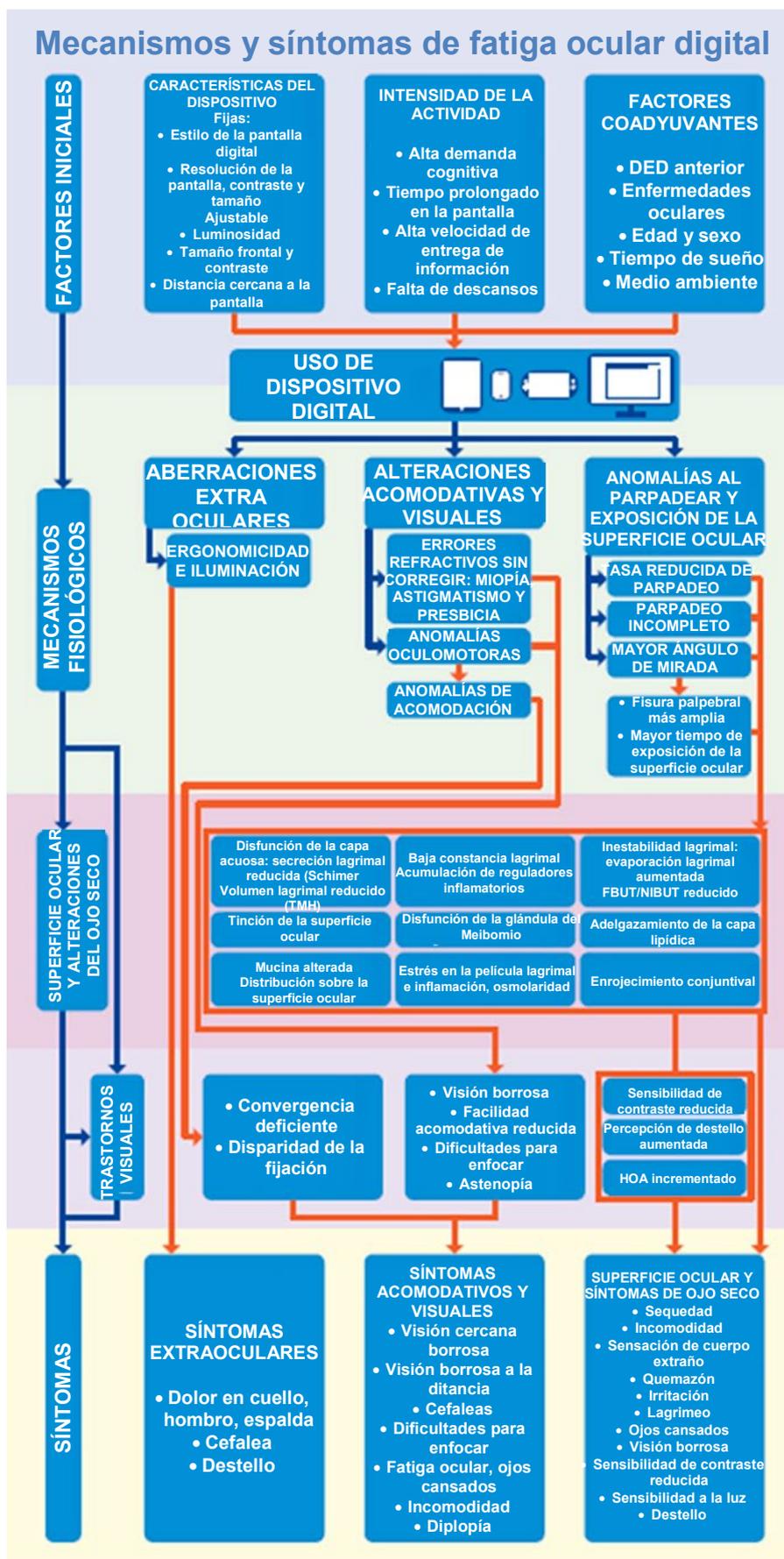


Fig. 4. Mecanismos y síntomas propuestos de la fatiga visual digital.

informado tras 20-30 min de juego con videojuegos [350,368], tras usar computadoras durante 4 h [336], tabletas durante 20-60 min [111,154] y tras 4 h de uso de teléfonos inteligentes [342,373]. Sin embargo, varios estudios no han encontrado ningún impacto del uso de teléfonos inteligentes en la estabilidad de la película lagrimal [110,346,374]. Ningún estudio ha realizado un seguimiento sistemático del curso temporal de la aparición de los primeros síntomas ni de cómo varía entre individuos.

El impacto de la tensión ocular digital en el epitelio corneal y conjuntival puede evaluarse mediante la tinción de la superficie ocular [302,336, 372]. Los trabajadores informáticos suelen presentar más tinción de la superficie ocular que los no usuarios de computadora [372], en particular los que trabajan una media de 7,9 h diarias [302] o >4 h diarias [336] y esto se ha correlacionado con la exposición total acumulada al tiempo de pantalla [307]. El patrón y el ritmo de parpadeo incompletos se han correlacionado con la presencia y la magnitud de la tinción corneal [367]. Sin embargo, varias investigaciones no han encontrado aumentos de la tinción ocular con el uso de pantallas digitales [375, 376], lo que puede deberse a una menor exposición acumulativa, ya que la tinción se considera un signo de enfermedad ocular seca más grave [377].

La prevalencia de la disfunción de las glándulas de Meibomio puede aumentar en los usuarios de dispositivos digitales [21,336]. Los trabajadores informáticos a largo plazo (media de 8 h/día, 8 años de uso) presentaban una disfunción de las glándulas de Meibomio y una pérdida de glándulas más graves que los trabajadores informáticos a corto plazo (media de 3 h/día, 5 años de uso) [336], quizá debido al efecto sobre el parpadeo que conduce a un daño crónico significativamente mayor de las glándulas de Meibomio con obstrucción de las glándulas, reducción de la expresividad, alteración de la calidad del meibum y atrofia subsiguiente de las glándulas [354,378].

Las capas lagrimales de lípidos y mucina también podrían verse afectadas por el uso de dispositivos digitales, pero las pruebas disponibles son limitadas. El adelgazamiento de la capa lipídica se produce con la mirada excéntrica y la consiguiente mayor superficie ocular expuesta que puede darse con el uso de la computadora [177]. Sin embargo, algunos autores no encuentran alteraciones en la capa lipídica tras realizar una tarea en una computadora [353], o en un teléfono inteligente [346]. Un estudio sobre usuarios de pantalla digital descubrieron que la concentración de mucina 5AC (MUC5AC) en la película lagrimal se reducía en aquellos que utilizaban una computadora durante más horas al día (>7 h en comparación con <5 h) [345].

Se han encontrado biomarcadores de inflamación y estrés en la superficie ocular y en la película lagrimal de los usuarios de dispositivos digitales. Se han notificado aumentos significativos de la osmolaridad de la película lagrimal tras el uso de pantallas digitales [110, 343,352,379]. Se ha detectado un aumento del marcador de estrés oxidativo tisular hexanoil lisina y de las especies reactivas del oxígeno en la superficie ocular tras 4 h de uso de teléfonos inteligentes [342]. Se han medido niveles significativamente más altos de interleucina-1 $\beta$  e interleucina-6 en trabajadores informáticos en comparación con los que no lo son [343]. Se ha observado un aumento del enrojecimiento bulbar conjuntival tras 15 min de lectura en un dispositivo informático [380] y en un teléfono inteligente [110], más enrojecimiento limbal y del párpado en los usuarios de pantallas digitales (>4 h diarias) [381] y un mayor riesgo de enrojecimiento ocular con el aumento de la exposición a los teléfonos inteligentes a lo largo de la vida (cociente de probabilidades 2.05; 95% CI1,24-3.38) [305].

### 6.1.3. Alteraciones visuales, acomodativas y oculomotoras

En la tensión ocular digital, los cambios en la superficie ocular y en la película lagrimal también pueden desencadenar alteraciones visuales como la disminución de la agudeza visual, la disminución de la sensibilidad al contraste, el aumento del deslumbramiento y el aumento de las aberraciones ópticas totales [32,382,383]. Esto se debe a que la película lagrimal es la superficie refractante externa para la luz incidente y a que las alteraciones en el grosor de la película lagrimal entre parpadeos tienen el potencial de crear cambios localizados en las aberraciones [339,383,384].

Aunque no están directamente relacionadas con la superficie ocular, los clínicos deben tener en cuenta que unas funciones acomodativas y oculomotoras adecuadas son necesarias para realizar actividades visuales de cerca y una corrección subóptima puede contribuir a la fatiga visual digital [16,337,385]. Las alteraciones acomodativas y oculomotoras pueden producirse por una menor facilidad acomodativa binocular, astenopía, defectos refractivos no corregidos, convergencia insuficiente y lectura a corta distancia [16,22,29,338,339,346]. La facilidad de acomodación binocular se redujo significativamente en adultos jóvenes después de 60 min de lectura en un dispositivo digital y aumentaron los síntomas oculares de cansancio, somnolencia y malestar; sin embargo, no se observaron

se comparó la tarea no digital [346]. Un estudio encontró una reducción significativa de la vergencia tras 8 h de trabajo con computadora [386], mientras que otro estudio no encontró cambios en el punto de convergencia de cerca tras 4 h de trabajo con computadora [387]. El tamaño de la pupila varía al realizar tareas de cerca, pero las alteraciones en el tamaño de la pupila no se asociaron con la aparición de síntomas de fatiga visual digital [16].

Las alteraciones de la acomodación pueden asociarse a síntomas de visión borrosa, astenopía, dificultades para enfocar, cansancio, fatiga, debilidad ocular y dolor de cabeza, cada uno de los cuales tiene una prevalencia de alrededor del 50% en una cohorte de usuarios de computadoras [16,22,29,338]. El número de horas diarias de uso de dispositivos digitales está fuertemente asociado al desarrollo o empeoramiento de estos síntomas [29,299]. Un estudio realizado en adolescentes descubrió que los que utilizaban dispositivos digitales 4 h al día o más presentaban significativamente más síntomas de insuficiencia de convergencia, exoforia cercana, vergencia fusional negativa, acomodación relativa negativa y amplitud de acomodación reducida que los que utilizaban dispositivos digitales menos de 4 h al día, y que los síntomas aumentaban durante la duración de una clase en línea [299]. Aunque la mayoría de los estudios se centran en adultos jóvenes, la fatiga visual digital también puede producirse en individuos con presbicia debido a factores como una claridad visual subóptima.

## 6.2. Visión

Las alteraciones visuales de la fatiga visual digital pueden asociarse a una película lagrimal y una superficie ocular de mala calidad, así como a alteraciones acomodativas y oculomotoras. En el pasado, el rendimiento y la comodidad visuales se han evaluado principalmente mediante cuestionarios de síntomas subjetivos, en los que la "visión borrosa" "mientras se visualiza el texto" y/o "a distancia al finalizar la tarea de cerca" constituyen una queja habitual, entre otras (por ejemplo, diplopía y fotofobia) [14,17,31,62,338,365,388-390].

### 6.2.1. Agudeza visual y sensibilidad al contraste

La agudeza visual es la medida más utilizada para evaluar la integridad de la función visual porque constituye un método sencillo y fácil de evaluar la capacidad visual, referida al optotipo estático de alto contraste más pequeño (expresado como ángulo visual de resolución) que puede detectar o reconocer el paciente [391,392]. Las pruebas convencionales de agudeza visual no han sido lo bastante sensibles para detectar a los pacientes con síntomas de fatiga visual digital [21,390,393]. Sin embargo, la visión prolongada de dispositivos electrónicos digitales con pantallas de tamaño reducido requiere una mayor exigencia visual (y una mejor agudeza visual), en comparación con la requerida para el material impreso, ya que los textos se componen de letras pequeñas y de bajo contraste [210,338]. Además, se suelen adoptar distancias de trabajo más cortas al visualizar material en teléfonos inteligentes [204,210], lo que puede plantear la necesidad de una corrección refractiva diferente, especialmente en poblaciones presbitas [390]. Así, las lentes para lentes que optimizan la visión para la distancia de visualización (denominadas lentes ocupacionales), a menudo parecen reducir los síntomas de la fatiga visual digital (consultar la sección 8.5) [394-397], pero las lentes progresivas para computadora no son ventajosas frente a otras formas de corrección refractiva [398].

El contraste de la imagen retiniana, incluso en un ojo sano, se atenúa debido a las imperfecciones de los medios oculares, dando lugar a aberraciones de orden superior y a la dispersión [399-401]. Así, las diferencias sutiles en el contraste de cualquier objeto o patrón pueden afectar a su visibilidad [402]. No existen estudios que exploren la asociación entre los síntomas de la fatiga visual digital y la sensibilidad al contraste. Por el contrario, se ha observado que la sensibilidad al contraste está reducida en pacientes con ojo seco [403-406].

### 6.2.2. Rendimiento de lectura

En la sociedad moderna, la capacidad de leer es un objetivo primordial de la visión funcional, siendo las pruebas de agudeza lectora a nivel de frase, como las tarjetas Colenbrander, MNRead [407] y Radner [408], las más sencillas de utilizar [409,410]. El test internacional de velocidad de lectura es una prueba más exigente con pasajes estandarizados más largos para proporcionar una estimación precisa de la velocidad de lectura, pero lo suficientemente cortos como para ayudar a evitar los efectos de la fatiga [411-413]; se diseñó para evaluar el impacto de la visión

y las enfermedades oculares, como la degeneración macular asociada a la edad y el glaucoma, sobre la lectura [414,415]. Los estudios también han medido los movimientos oculares simultáneamente durante la lectura, como indicador sustitutivo del rendimiento en la lectura o para comprender el impacto de los movimientos oculares en la lectura [21,388,412,416]. Dado que la lectura es la tarea más común que requiere una visión de cerca sostenida, no es sorprendente que el rendimiento en la lectura constituya un fuerte predictor de la calidad de vida relacionada con la visión [410, 417], mientras que la dificultad para leer es una queja frecuente entre los individuos que experimentan síntomas de fatiga visual digital [416,418]. La lectura en pantallas digitales puede facilitarse aumentando la frecuencia de actualización [419], mientras que la velocidad de lectura se ve obstaculizada en presencia de fuentes brillantes que causan molestos deslumbramientos [420].

### 6.2.3. Incomodidad y deslumbramiento por discapacidad

El deslumbramiento se define como una luz desagradablemente brillante o un rango de luminancia demasiado amplio. El deslumbramiento incapacitante está causado por la pérdida de contraste de la imagen retiniana provocada por la dispersión de la luz intraocular que produce una luminancia velada sobre el campo de visión. El deslumbramiento de incomodidad provoca una sensación molesta o dolorosa y se define como una sensación subjetiva de molestia e incomodidad causada por una luz brillante en el campo de visión, sin que ello afecte necesariamente a la visibilidad de los objetos. El método estándar actual para evaluar el deslumbramiento molesto es con escalas de calificación subjetivas [421]. El deslumbramiento molesto objetivo se ha evaluado mediante el registro de las respuestas electromiográficas de los músculos oculares [422,423], que puede constituir una medida objetiva sensible para tales condiciones [389]. La fuente de deslumbramiento, cuando se utilizan dispositivos digitales, es la luz de la pantalla digital o la iluminación artificial del entorno [24, 424-426]. El uso de dispositivos digitales aumenta el deslumbramiento molesto, que afecta al rendimiento del usuario [14,390,420] y puede constituir una causa importante de los síntomas de fatiga visual digital.

### 6.3. Oculomotor

Las tareas de cerca sostenidas provocan la tríada de cerca, que consiste en una disminución de las funciones de acomodación y vergencia, y cambios en la respuesta y la dinámica pupilar [16,386,387,393,427-432]. Estos efectos se producen tanto con el uso de pantallas digitales como con el trabajo en papel, sin que existan pruebas convincentes de las diferencias [16,365,387,393,427,433-436]. Estos efectos oculomotores se han propuesto como indicadores o, de hecho, impulsores de las quejas astenópicas en los usuarios de dispositivos digitales, pero las pruebas siguen siendo escasas [16,21,334,427,436-438]. Los tamaños de letra más pequeños de los teléfonos inteligentes, en comparación con las pantallas más grandes o los medios impresos, suelen implicar distancias de visión aún más cortas y posturas asimétricas de la cabeza; las pruebas emergentes sugieren que los tamaños de letra más pequeños se asocian a un retraso acomodativo más pronunciado [162,210,439], lo que podría provocar mayores síntomas [204], pero los efectos definitivos a largo plazo siguen sin estudiarse [346,440]. Estos efectos parecen ser transitorios, volviendo a los valores de referencia poco después de dejar de utilizar la pantalla digital. Aunque no se dispone de pruebas de efectos crónicos, el desarrollo de síntomas sostenidos en el contexto del uso ubicuo de dispositivos digitales parece plausible [16,21]. Los estudios en este ámbito suelen incluir cohortes pequeñas, con participantes jóvenes y sanos, con duraciones de exposición a la pantalla mucho más cortas que las que podrían experimentarse durante los actuales patrones de uso intensivo de los dispositivos digitales.

### 6.4. Frecuencia crítica de fusión del parpadeo

La frecuencia crítica de fusión del parpadeo se define como el nivel más bajo de parpadeo continuo que se percibe como una fuente de luz fija y se ha demostrado que varía con una serie de factores del estímulo, como la intensidad, el tamaño, el color, el contraste, la excentricidad retiniana y la duración de la tarea, así como con la edad del participante y su nivel de adaptación a la luz [441-443]. La reducción de la frecuencia crítica de fusión del parpadeo se ha interpretado como una medida indirecta de la fatiga ocular, atribuible a una disminución del estado de alerta [16, 109,116]. Sin embargo, la validez de esta medida es objeto de debate, ya que algunos estudios han podido detectar cambios negativos en la frecuencia de fusión del parpadeo crítico con la fatiga ocular subjetiva relacionada con la tensión ocular digital.

quejas [444,445], mientras que otros no lo han hecho [332,446-449]. Además, no está claro si la frecuencia crítica de fusión del parpadeo es diferente tras el uso sostenido de pantallas digitales en relación con la que se produce tras la lectura de papel, o entre las distintas tecnologías de pantalla [109,332,445,446]. Las frecuencias de actualización relativamente bajas de las primeras tecnologías de pantalla de tubo de rayos catódicos pueden haber impulsado a centrarse en la frecuencia crítica de fusión del parpadeo como medida de la fatiga visual. Sin embargo, en el contexto de las frecuencias de actualización mucho mayores de las tecnologías de pantalla modernas (consultar la sección 2.2.3), su utilidad como medida objetiva de los síntomas de fatiga visual digital sigue sin estar clara [21,264,332,419,450].

### 6.5. Desarrollo refractivo (miopía)

Las tareas cognitivas de cerca pueden inducir un pequeño desplazamiento miópico, transitorio y reversible, conocido como "miopía transitoria inducida por el trabajo de cerca", que no afecta significativamente a la agudeza visual pero que se ha asociado ocasionalmente a quejas astenópicas [21,387,393,432,451,452]. El uso prolongado de la computadora se considera desde hace tiempo un factor de riesgo de miopía [452-457], aunque no en todos los estudios [458,459], y la educación, el trabajo de cerca y la reducción del tiempo al aire libre son factores de riesgo reconocidos de aparición y progresión de la miopía desde una edad temprana [205,453,456,460-463]. Sin embargo, no existen pruebas convincentes de un aumento significativo del riesgo de aparición o progresión de la miopía con el uso de dispositivos digitales en comparación con otras formas de trabajo de cerca en adultos. En los niños, varios estudios recientes a gran escala, revisiones sistémicas y meta-análisis han informado de resultados contradictorios, en los que el uso de dispositivos digitales no se asocia a la miopía o lo hace de forma moderada [464-466].

Un gran estudio de cohortes de 5,074 niños descubrió que el uso de la computadora a la edad de 9 años estaba débilmente asociado con el desarrollo de la miopía (cociente de probabilidades = 1.005 [95% CI 1.001-1.009]); el tiempo de lectura tenía una asociación más fuerte con miopía, posiblemente debido a una menor distancia de trabajo de cerca [464].

Una revisión sistemática de 15 estudios en los que participaron un total de 49.789 niños de entre 3 y 19 años encontró resultados dispares en cuanto a una asociación entre las horas que los niños pasaban utilizando pantallas digitales y la miopía, y la mitad de los estudios no confirmaron una asociación. Curiosamente, los estudios más recientes de esta revisión parecían mostrar una tendencia de asociación entre la miopía y el aumento del tiempo de pantalla [465]. También se informó de un mayor riesgo de miopía en el contexto de la pandemia COVID-19, atribuido a un aumento significativo del tiempo frente a la pantalla [467].

Cada vez hay más pruebas de que el uso de teléfonos inteligentes y dispositivos de mano puede estar más estrechamente relacionado con el riesgo de miopía [468]. Los dispositivos de mano tienen pantallas de menor tamaño y se utilizan a distancias de trabajo más cortas, durante periodos de tiempo más largos, en comparación con los portátiles y las computadoras. Esto impone mayores exigencias a la acomodación y reduce aún más el tiempo que se pasa al aire libre, dos factores de riesgo importantes para la miopía. La interacción de las señales de desenfoque asociadas a la inestabilidad acomodativa también puede desempeñar un papel en el desarrollo de la miopía [466]. Un meta-análisis de 27 estudios sobre 25.025 niños de entre 6 y 18 años descubrió que cada hora adicional a la semana de trabajo de visión cercana aumentaba las probabilidades de miopía en un 2% [205], aunque había algunos indicios de sesgo de publicación que favorecían esta asociación y no se evaluó la calidad de los estudios incluidos. Otra revisión sistemática bien realizada de 33 estudios y un meta-análisis de 11 estudios también indicaron que el uso de dispositivos inteligentes por parte de niños (de 3 a 16 años) puede estar asociado a la progresión de la miopía [466].

Varias limitaciones de estos estudios justifican una interpretación cautelosa de los resultados, como el uso de mediciones informadas autónomamente del tiempo frente a la pantalla y de cuestionarios no validados, el número relativamente pequeño de estudios incluidos en los meta-análisis y la sobrerrepresentación de poblaciones asiáticas con alta prevalencia de miopía. Señalar el tiempo de pantalla digital como factor causal sigue siendo difícil, dado que la prevalencia de la miopía, especialmente en algunos países de Asia oriental, aumentó varias décadas antes de que se introdujeran los dispositivos digitales [466] y las pantallas digitales han sustituido al aprendizaje con lápiz y papel, lo que dificulta una comparación directa.

## 7. Impacto

La aparición de nuevos desarrollos tecnológicos, mejoras informáticas de alta tecnología e Internet más rápido ayudan a los trabajadores a gestionar grandes volúmenes de información para permitir una mayor productividad. Sin embargo, la presencia de fatiga visual digital se ha asociado a una menor calidad de vida [319] y a una menor productividad laboral [469].

### 7.1. Productividad

Además de causar molestias personales al propio individuo, la fatiga visual digital puede tener un impacto económico significativo. Los síntomas pueden ralentizar la realización de la tarea digital, aumentar el número de errores cometidos o requerir que el individuo afectado se tome descansos más frecuentes.

#### 7.1.1. Síntomas oculares

Los síntomas oculares asociados a la fatiga visual digital consisten en sensaciones generales de malestar ocular, que incluyen dolor/irritación en los ojos y alrededor de ellos, tensión ocular, dolor, vista cansada, dolores de cabeza y síntomas de sequedad [230,334]. El desenfoque recurrente y la pérdida transitoria de visión debidos al uso prolongado de computadoras o teléfonos inteligentes no son infrecuentes [22,470] y tienen un efecto perjudicial en la productividad. Un pequeño estudio [471] reportó que la productividad mejoraba con el aumento del confort ocular tras microdescansos regulares (tres descansos de 30 s y uno de 3 min del trabajo con computadora cada hora, además de los descansos convencionales) durante un periodo de tratamiento de 4 semanas, aunque esto no fue clínicamente significativo cuando se replicó en una cohorte mayor [471]. La pérdida de productividad debida a los síntomas de la sequedad ocular en los oficinistas japoneses en 2014 se valoró en 6.160 dólares (Estados Unidos) por persona al año [345], mientras que la pérdida anual total debida a la enfermedad del ojo seco en los Estados Unidos de América hace más de una década, se estimó en 55.000 millones de dólares (Estados Unidos) [472]. Dado que el uso de pantallas viales y digitales se ha implicado como un factor que contribuye a los síntomas de sequedad y, potencialmente, a algunas enfermedades del ojo seco, es probable, por tanto, que la fatiga visual digital, al igual que los síntomas de sequedad ocular [473,474], reduzca significativamente la productividad laboral y afecte negativamente a la calidad de vida.

#### 7.1.2. Síntomas visuales

La visión borrosa es uno de los síntomas visuales más comunes que experimentan los usuarios de pantallas visuales, y se ha estimado que llevar una corrección refractiva específica para la computadora podría aumentar la productividad en un 2,5% o más [469]. Un estudio doblemente enmascarado, controlado con placebo y aleatorizado realizado en jóvenes de 19 a 30 años estimó que la productividad, basada en el tiempo de realización de una tarea con computadora, variaba hasta un 28,7% con una corrección incorrecta de 2 D de cilindro [469]. Sin embargo, estas lentes ocupacionales, diseñadas especialmente para presbítas, son específicas para la distancia de visión y pueden resultar inapropiadas para realizar tareas a distancias de visión diferentes a la de una computadora de sobremesa. Se ha informado de una mejora de la eficacia tras la introducción de pantallas de monitor de alta resolución (consultar el apartado 2.2.2) y el uso de una corrección visual óptima para la distancia de trabajo pertinente (consultar el apartado 8.5).

#### 7.1.3. Síntomas musculoesqueléticos

La tensión ocular digital asociada al trabajo de cerca experimentado durante el uso de la computadora o relacionado con él puede inducir una situación de estrés visual que provoque cambios en la postura corporal [475,476]. Los trastornos musculoesqueléticos del cuello y las extremidades superiores pueden afectar a los hombros, la parte superior de los brazos, muñecas y manos [477]. La productividad puede ser afectada negativamente por los síntomas musculoesqueléticos en usuarios de computadora [478]. Las lesiones musculoesqueléticas asociadas con el uso de la computadora pueden ser responsables por al menos la mitad de las lesiones relacionadas con el trabajo [325,479-481] y se informó que son el segundo motivo de certificación de enfermedad en el Reino Unido en 2005 [482]. El modelado estima que la prevalencia de síntomas en el cuello, hombros y brazo en trabajadores con computadora

podría alcanzar el 62% [483]. Por lo tanto, no es de extrañar que el coste de los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo sea elevado (Cuadro 3), y se descubrió que los efectos de la pandemia de COVID-19 eran un factor que contribuía al aumento de las lesiones musculoesqueléticas relacionadas con el trabajo [484].

### 7.2. Calidad de vida

Se sabe que el compromiso digital puede influir positivamente en la calidad de vida de las personas mayores [489]. Sin embargo, pocos estudios han investigado si la fatiga visual digital influye en la calidad de vida del usuario de un dispositivo digital. Además, debido a las fuertes correlaciones inter-variables dentro de los modelos estructurados, es difícil establecer la consecuencia exacta de la fatiga visual digital en la calidad de vida. Un estudio realizado con 638 empleados universitarios demostró que la fatiga visual digital tenía un impacto pequeño, pero significativo, en la calidad de vida tras controlar la calidad del trabajo [319]. La correlación era sustancialmente mayor entre los síntomas oculares y físicos, ya que la visión borrosa, la sequedad y la tensión ocular estaban muy correlacionadas con el dolor de espalda, brazos y piernas. Se sabe más sobre el efecto de la enfermedad del ojo seco en la calidad de vida. El aumento de la gravedad de la enfermedad ocular seca tiene un impacto significativamente adverso en la salud física [490-492] y mental [492,493]. También se ha descrito un impacto negativo sobre el sueño y el estado de ánimo, ya que las alteraciones del sueño se asocian de forma significativa con la enfermedad del ojo seco en hombres y mujeres [133], y es significativamente mayor en los pacientes con enfermedad del ojo seco en comparación con los que padecen otras afecciones oculares como glaucoma o enfermedades de la retina [494] (consulte el *TFOS Estilo de vida: Informe sobre el impacto de los retos del estilo de vida en la superficie ocular*) [495]. Uso de computadoras, teléfono inteligente, videoconsola y televisión en la hora anterior a irse a dormir, y >4 h de uso total de pantallas durante el día después de la escuela se han asociado con una mayor deficiencia de sueño [496]. Una disminución de la agudeza visual funcional también se ha demostrado que afecta negativamente a la calidad de vida de los pacientes con enfermedad del ojo seco [382,497].

### 7.3. Impacto de la pandemia de COVID-19

El uso de dispositivos digitales se exacerbó durante la pandemia debido al cierre de escuelas, cuando la oferta educativa pasó a depender de clases en línea asistidas por dispositivos digitales [299]. Varios estudios han evaluado el impacto de estos cambios durante la pandemia y han informado de una alta prevalencia de fatiga visual digital, síntomas de sequedad y astenopía, asociados al aumento del uso de dispositivos digitales (aumento del tiempo diario y total frente a la pantalla) [285,299-301,316,320,344,346,348,349], en niños, adolescentes [299,300,346] y estudiantes universitarios que participan en clases en línea [285,301], en usuarios de pantallas digitales [344] y en la población general [301,316,320]. La media de horas de uso de dispositivos digitales comunicada en los estudios durante la pandemia osciló entre 2 y 9 h diarias [285, 299,300,316,320,346,349], y la prevalencia de la fatiga visual digital osciló entre el 12 y el 95%, aumentando con la mayor duración del uso de visores digitales [285,299-301,316,320].

Un estudio transversal encontró un aumento del tiempo frente a la pantalla durante la pandemia en comparación con antes de la pandemia (el 57,0% frente al 10,9% tenía ≥6 h al día de uso de dispositivos digitales). El principal factor de riesgo del ojo digital se encontró que el tiempo frente a la pantalla era mayor (con una reducción del tiempo frente a la pantalla se declaró como una razón de probabilidades protectora 0.636, IC 95% = 0.47-0.85 para no

### Cuadro 3

Visión general de las lesiones musculoesqueléticas relacionadas con los costes. Adaptado de Hoe et al., 2018 [480].

Autor (año)	Ubicación	Costes
Mathers 1999 [485]	Australia	17% de los costes totales del sistema de salud
Buckle 1999 [486]	Unión Europea	Hasta 2% del producto interno bruto
HSE 2020 [484,487]	Reino Unido	£7 mil millones anuales
USBJI 2015 [488]	Estados Unidos de América	5.73% del producto interno bruto

tener tensión ocular digital), error refractivo y tener la pantalla a menos de 20 cm de distancia, así como utilizar los dispositivos en la oscuridad y tomar pocos descansos o ninguno [301]. Otro estudio sobre trabajadores de pantallas digitales encontró un aumento significativo de todos los síntomas de fatiga visual digital que acompañaba a un aumento del tiempo de pantalla de 7.4 a 9.5 h/día desde antes a durante la pandemia [344]. Una encuesta realizada a niños (edad media de 13 años) que realizaban estudios en línea descubrió un aumento significativo de las horas de uso de visores digitales de 1.9 a 3.9 h al día durante la pandemia. De esta cohorte, se identificó que el 50% tenía fatiga visual digital (el 11% se declaró "grave"), los factores de riesgo independientes de la fatiga visual digital son la edad >14 años, el sexo masculino, el uso de teléfonos inteligentes, >5 h de uso de dispositivos digitales y el uso de juegos móviles >1 h al día [299]. Un estudio en el que participaron escolares (edad media 12 años) descubrieron que el 97% declaraba al menos 1 síntoma de fatiga visual digital o síntomas de sequedad, y que los síntomas más frecuentes eran la pesadez de los párpados (80%) y el enrojecimiento de los ojos (69%) [300].

## 8. Intervenciones

Existe una gran demanda de tratamientos para aliviar los síntomas de la fatiga visual digital. Aunque las intervenciones centradas en modificar los comportamientos frente a los dispositivos digitales en las familias han demostrado cierto éxito en culturas como la china [498], en la mayoría de los casos es difícil fomentar un menor uso de las pantallas digitales por parte de los individuos. Existen muchas terapias para tratar la sequedad ocular [499] y, dada la asociación entre los síntomas del ojo seco y los síntomas de fatiga visual digital (correlación de Spearman = 0.74) [29], se podría esperar que el tratamiento de las enfermedades de la superficie ocular ayudara a reducir los síntomas de la tensión ocular digital [16,17].

Dado que los síntomas de la fatiga visual digital son necesariamente subjetivos, una consideración clave en la interpretación de los resultados es la adecuación del enmascaramiento de los participantes. Los estudios en los que no se enmascara adecuadamente la asignación de la intervención a los participantes corren el riesgo de sesgar los resultados a favor de la intervención [500]; por lo tanto, es difícil realizar una evaluación precisa de la eficacia del tratamiento cuando existe la posibilidad de un sesgo de constatación.

### 8.1. Pausas de descanso y la regla 20/20/20

Entre los estudios publicados, los umbrales de duración diaria de la pantalla digital asociados a los síntomas variaron de 1 a 2 h/día [501] a 8 h/día [502]. En una revisión de artículos indexados en la base de datos PubMed, sólo 4 de 26 estudios [503] no hallaron una asociación positiva entre el aumento de la duración diaria del uso de pantallas digitales y los síntomas de sequedad ocular [176,275,504,505]. La regla 20/20/20 se recomienda habitualmente para minimizar los síntomas de sequedad y la fatiga ocular digital durante el uso de pantallas digitales, y propone que los usuarios hagan una pausa de 20 s cada 20 min y se concentren en un objeto situado al menos a 6 m de distancia. Aunque está reconocida por organizaciones como la Academia Americana de Oftalmología, la Asociación Americana de Optometría y la Asociación Canadiense de Optometristas [306], los estudios revisados por expertos que confirman la eficacia de la regla 20/20/20 son limitados. Un estudio africano informó de un efecto beneficioso en la reducción de los síntomas, pero no se supervisó el cumplimiento, por lo que los resultados positivos podrían haberse debido a un efecto placebo [506]. Un estudio reciente demostró una disminución de los síntomas oculares, acompañada de un aumento del número de pausas pero de menor duración al día, como resultado de los recordatorios de la regla 20/20/20 [507]; sin embargo, 2 semanas fueron insuficientes para mejorar considerablemente la visión binocular o los signos de ojo seco y las mejoras fueron efímeras. Se observó que las pausas espontáneas en el uso de la computadora portátil eran frecuentes y que los usuarios sobreestimaban su duración real de uso de la computadora [507].

En relación con los estudios sobre las pausas de descanso para reducir la fatiga visual digital, existen dos estudios controlados aleatorizados relevantes [508,509], ambos del mismo autor principal, que informan de beneficios en el confort ocular y musculoesquelético, aunque no se evaluaron los parámetros de la superficie ocular [508,509]. Además, hay estudios que demuestran que las pausas regulares durante el uso de pantallas digitales se asocian a menos síntomas relacionados con la sequedad ocular [286,295,296,321]. Por lo tanto, aunque sigue existiendo una justificación biológica del beneficio potencial de las pausas de descanso para

reducir la fatiga ocular digital, y puede decirse que estos enfoques son de bajo riesgo, no tienen ningún coste para el consumidor y son promovidos por algunos organismos profesionales, sigue siendo necesario realizar más evaluaciones sólidas para proporcionar una mayor claridad sobre su potencial mérito clínico.

Los usuarios de medios digitales informan habitualmente de que pasan demasiado tiempo frente a sus pantallas y de un fuerte deseo de reducir el tiempo que pasan frente a ellas [510,511]. Varias aplicaciones móviles y sistemas operativos convencionales incorporan programas de "bienestar digital" destinados a modificar el comportamiento de los usuarios mediante la supervisión y limitación del uso de los medios y la promoción de una "dieta" digital más consciente. La relación entre la duración del uso de la pantalla, el comportamiento de parpadeo y la fatiga visual digital sugiere que una reducción del tiempo frente a la pantalla beneficiaría los problemas asociados a la fatiga visual digital. Sin embargo, el uso de intervenciones para el bienestar digital en el contexto de la tensión ocular digital sigue sin estudiarse y otros estudios sobre el bienestar se han considerado metodológicamente inconsistentes, con resultados poco concluyentes [510,511]. Los enfoques actuales se basan en gran medida en técnicas de autocontrol que se consideran insuficientemente restrictivas para promover un cambio de comportamiento en los usuarios. De hecho, se informa de que la mayoría de los intentos de reducir o abstenerse del tiempo frente a la pantalla parecen fracasar [510,511].

### 8.2. Mejorar el parpadeo

En cinco estudios se han aplicado recordatorios/animaciones de parpadeo con el propósito de aumentar la tasa de parpadeo [512-516]. Una de las animaciones cubría el 20% de la pantalla durante 0,6 s, recordando así al usuario que parpadeara durante el uso de la pantalla digital [515]. Otro estudio permitía que la animación fuera personalizada por el usuario [516]. En los tres estudios restantes, el software se hizo para aumentar la tasa de parpadeo sin interferir en la concentración de los usuarios [513,515,516]. Los cinco estudios aumentaron la tasa de parpadeo durante el uso de pantallas digitales, sin embargo, sólo tres fueron capaces de mejorar los síntomas de los pacientes y sólo a corto plazo [512,515, 516]. Instruir a los pacientes con enfermedad del ojo seco para que realizaran un ciclo de 10 s de ejercicios de parpadeo cada 20 min durante las horas de vigilia durante cuatro semanas produjo mejoras en los síntomas, un aumento del tiempo de ruptura lagrimal no invasivo y una disminución de la proporción de parpadeos incompletos. Sin embargo, una cuarta parte abandonó el estudio, no se produjeron cambios en la altura del menisco lagrimal ni en el grosor de la capa lipídica, los participantes declararon realizar una media de 25,6 ciclos diarios de ejercicios de parpadeo al día (lo que resulta bastante oneroso) y no se evaluó la duración del efecto mantenido [517].

### 8.3. Ejercicios oculomotores

Los ejercicios oculomotores se utilizan para tratar o entrenar diversos aspectos de la función ocular y visual. Existen pruebas limitadas de la eficacia de los ejercicios oculares en el tratamiento de la insuficiencia de convergencia [427,518]. Para el resto de aplicaciones, las pruebas de la eficacia de los ejercicios oculares se consideraron insuficientes o poco convincentes. Sólo hay un estudio que investigue los ejercicios oculomotores en el contexto de la fatiga ocular digital que acompaña al uso de pantallas digitales (en forma de cascos de realidad virtual), que sugirió que los ejercicios oculares son beneficiosos, pero sólo se probó con un cuestionario a medida [519]. Además, un estudio controlado dirigido y enmascarado por el investigador demostró que 60 días de ejercicios oculares incluidos como parte de la práctica diaria de yoga de 1 hora redujeron las molestias visuales declaradas por el uso de la computadora [520]. Dado el papel de la vergencia en el uso de dispositivos digitales, los ejercicios oculares o los cambios posturales pueden ser útiles para aliviar la insuficiencia de convergencia, especialmente en usuarios de pantallas digitales que ya sufren anomalías de convergencia. Sin embargo, faltan pruebas experimentales sobre ejercicios oculomotores para reducir la tensión ocular digital.

### 8.4. Ergonomía y cambios medioambientales

Se observó que la formación ergonómica en la oficina y el uso de sillas muy ajustables reducían los síntomas oculares en los trabajadores de oficina [521,522]. Cuatro estudios transversales exploraron el efecto del ángulo de mirada entre los ojos y la pantalla sobre los síntomas de sequedad [275,296,321]. Dos estudios hallaron un

asociación entre el ángulo de la mirada y los síntomas de la fatiga visual digital, concluyendo que un ángulo de la mirada inferior al nivel de los ojos es beneficioso, sin indicar un ángulo ideal [296]. Contrariamente a este hallazgo, el riesgo de síntomas de sequedad al utilizar dispositivos digitales manuales, que suelen colocarse por debajo del nivel de los ojos, fue mayor en comparación con los dispositivos digitales de sobremesa (pero sin controlar la duración del uso) [176]. Los otros dos estudios no pudieron encontrar ninguna correlación entre el ángulo de la mirada y los síntomas de la fatiga visual digital [275,321]. Tres estudios evaluaron el impacto de la distancia de visualización en los síntomas del ojo seco [200,286,321]. Dos de los estudios concluyeron que la distancia óptima de visión debería ser <51 cm [286] o 52-75 cm [200], mientras que el tercero no encontró ninguna asociación entre los síntomas y la distancia de visión [321]. Ajustar el brillo de la pantalla en función de la luz ambiental redujo la prevalencia de la fatiga visual digital [286,321], pero no influía en la gravedad de los síntomas [321]. Un estudio prospectivo [523] y tres transversales [275,286,321] descubrieron que la reducción del deslumbramiento tenía un impacto beneficioso en los síntomas de la fatiga visual digital, lo que llevó a abogar por el uso de pantallas antirreflejo para reducir la fatiga visual digital permitiendo mantener un ritmo de parpadeo más normal [523].

El aumento de la intensidad de la luz en el lugar de trabajo redujo el riesgo de baja estabilidad de la película lagrimal en los trabajadores de oficina [524], mientras que la baja humedad del aire y el aire acondicionado en un entorno de oficina aumentaron el riesgo de síntomas de sequedad [524] e incrementaron la gravedad de la fatiga visual digital [286]. Los humidificadores de sobremesa mejoraron las puntuaciones de los síntomas y la estabilidad de la película lagrimal en los trabajadores de oficina [525,526]. Se han aplicado diversos dispositivos faciales, como lentes, lentes y máscaras oculares, para tratar y prevenir los síntomas de sequedad en usuarios de pantallas digitales [527-530]. Se ha comprobado que los auriculares de realidad virtual son superiores al uso convencional de la computadora, lo que se traduce en una mejora de la estabilidad de la película lagrimal [251] y del grosor de la capa lipídica [531] (consultar la sección 2.3).

### 8.5. Corrección refractiva

Los síntomas de la tensión ocular digital empeoran considerablemente con un defecto refractivo no corregido o infra-correcto [532-536]. Tan sólo de 0.50 a 1.00D de astigmatismo no corregido puede aumentar significativamente los síntomas [427,536,537]. Por lo tanto, la corrección refractiva suele ser el tratamiento de primera línea para la fatiga visual digital, prescribiéndose habitualmente en la práctica clínica lentes monofocales, así como diversos diseños de lentes progresivas para computadora. Una revisión sistemática y meta-análisis Cochrane de 8 estudios con un total de 381 participantes descubrió que, a largo plazo, los lentes progresivas para computadora no reducen considerablemente las molestias asociadas a la fatiga visual digital en comparación con otras lentes, independientemente del diseño óptico; sin embargo, el uso de lentes "para computadora" (enfocadas a distancia intermedia) aliviaba los dolores de cabeza un 10% más que la corrección refractiva a distancia monofocal [398]. Sin embargo, la calidad de la evidencia en todos los estudios se consideró baja o muy baja, lo que llevó a los autores a afirmar que su conclusión era incierta. Además, la corrección de la presbicia no redujo la tensión ocular digital declarada [538]. Las lentes de contacto o la cirugía refractiva siguen sin estudiarse en este contexto.

### 8.6. Intervenciones de bloqueo azul

La luz azul de longitud de onda relativamente corta (380 nm-500 nm), transporta una mayor energía por fotón que la luz visible de longitud de onda más larga. Los estudios en animales [539,540] y cultivos celulares [541,542] muestran un potencial de fototoxicidad retiniana por la luz azul, aunque esto depende de la longitud de onda, así como de la intensidad y duración de la exposición. En vista de ello, existen normas internacionales que definen los límites de exposición segura a la luz azul, por debajo de los cuales es improbable que se produzcan daños oculares. Aunque la luz solar es la principal fuente natural de luz azul en el medio ambiente, muchas fuentes modernas de luz en interiores (por ejemplo, los diodos emisores de luz, las pantallas de cristal líquido y las lámparas fluorescentes) tienen espectros de emisión que alcanzan un pico en las longitudes de onda de la luz azul. Aunque el aumento del uso de tecnologías digitales que adoptan estas fuentes de luz ha aumentado la preocupación por los efectos potencialmente nocivos de la luz azul en la salud ocular, estas fuentes no son

considerados como un peligro biológico, incluso desde una visión sostenida [543] (consultar la sección 2.2.1).

Los dispositivos oftálmicos "bloqueadores del azul" o "filtradores de la luz azul" (por ejemplo, las lentes de protección, las lentes de contacto y las lentes intraoculares) tienen tintes o revestimientos que absorben selectivamente diversos grados de luz visible de longitud de onda corta [116] y se desarrollaron inicialmente sobre todo con el racional de mitigar el riesgo potencial de toxicidad retiniana de la luz azul [544,545]. También se ha planteado la hipótesis de que la luz azul es una causa potencial de la fatiga visual digital [16], aunque esto sigue siendo polémico dado que el mecanismo potencial subyacente a tal efecto no está claro [351]. No obstante, en la actualidad se comercializan diversas lentes de protección de bloqueo azul, algunas de las cuales se ha sugerido que reducen la fatiga ocular con el uso de pantallas digitales, y los profesionales de la visión las prescriben de forma rutinaria con este fin [546,547]. Una revisión sistemática reciente [548] identificó tres estudios controlados aleatorizados relevantes (Cuadro 4) [351,444,549] con 166 participantes adultos que utilizaron intervenciones de 2 h a una semana y concluyó que había poca certeza de cualquier beneficio con el uso de lentes de bloqueo azul en relación con las lentes de bloqueo no azul. Estudios no aleatorizados han examinado los cambios en la superficie ocular con lentes de protección "bloqueadoras del azul" [550], pero incluso con una atenuación del 50% de la luz azul [551], no se encontraron efectos significativos. Un estudio controlado aleatorizado no encontró diferencias entre las lentes de bloqueo azul en combinación con o sin una adición de potencia de +0.4 dioptrías [552]. Un estudio piloto en el ojo contralateral de lentes de contacto "bloqueadoras del azul" [553] reveló una mejora de la estabilidad de la película lagrimal en el ojo que utilizaba las lentes de luz azul, pero el estudio no fue aleatorizado y la importancia clínica del efecto notificado no está clara. Otras consideraciones relevantes para la interpretación de estos estudios incluyen la falta de una exposición consistente a los dispositivos digitales y la medición de las condiciones ambientales (por ejemplo, la humedad y la temperatura) que pueden afectar a los síntomas y signos de la superficie ocular.

La exposición ocular a la luz azul también puede modularse mediante intervenciones ajenas a las lentes, como los accesorios de pantalla, los ajustes internos de los dispositivos digitales y el software descargable. Aunque en la actualidad se carece de evaluaciones rigurosas de estudios clínicos de estas intervenciones, se ha informado de que los filtros de pantalla "bloqueadores del azul" no son más eficaces para reducir la fatiga ocular digital que un filtro de densidad neutra equiluminoso [554-556]. En ninguno de estos estudios se evaluaron los efectos sobre la superficie ocular. Además, una revisión sistemática que evaluó las superposiciones de color en general no encontró pruebas fehacientes de que alivien la dificultad o la incomodidad para leer [557].

También se ha afirmado que el software descargable para restringir la paleta de colores en las pantallas de los dispositivos digitales y las opciones de modo "nocturno" integradas en algunos dispositivos digitales ofrecen beneficios potenciales para reducir la exposición a la luz azul y promover la calidad del sueño [558]. En general, actúan para sesgar el espectro de luz emitido por las pantallas de los dispositivos digitales hacia longitudes de onda más largas (colores más cálidos). Sin embargo, las investigaciones publicadas que evalúan la eficacia de estas formas de tecnologías de control de la luz azul son limitadas (consultar la sección 2.2.1). Un estudio cruzado con 30 adultos descubrió que la reducción de las emisiones de luz azul en un 20% durante una tarea de lectura de 2 horas en una tableta a última hora de la tarde redujo los síntomas relacionados con la sequedad notificados subjetivamente en comparación con la realización de la tarea en la tableta sin filtro [559].

### 8.7. Intervenciones para mejorar la calidad y/o cantidad de la película lagrimal

#### 8.7.1. Productos lagrimales artificiales y formulaciones tópicas

Los productos a base de lágrimas artificiales, cuyo objetivo es complementar la película lagrimal, son un pilar del tratamiento de la enfermedad del ojo seco [499,560]. En términos generales, estos agentes lubrican la superficie ocular y aumentan el volumen lagrimal, pero son heterogéneos en sus formulaciones y en su rendimiento ocular [560]. Aunque muchos estudios han investigado la terapia con lágrimas artificiales para reducir los signos y/o síntomas de la enfermedad del ojo seco, pocos han investigado formalmente su eficacia para la tensión ocular digital. Se ha informado de que el uso de colirios lubricantes oculares reduce los síntomas oculares de sequedad, cansancio y dificultades de enfoque al realizar una tarea con la computadora [561,562]. Tres lágrimas artificiales diseñadas para actuar sobre diferentes

**Cuadro 4**

Características clave de los estudios controlados aleatorizados que han evaluado las lentes de bloqueo azul para la fatiga visual digital.

Estudiar	Diseño del ensayo	Población participante	Intervención(es)	Comparador	Duración de la intervención	Resultado
Dabrowiecki et al. (2020) [549]	Individual enmascarado, brazo paralelo	Residentes de radiología (n = 20)	Luz azul bloqueante lentes monofocales, usados a partir de las 8:00 a.m. a 5:00 p.m. todos los días.	Sin luz azul bloqueante uso de lentes monofocales desde 8.00 am hasta 5.00 pm todos los días. Sin luz azul bloqueante lentes monofocales	1 semana	Solo dificultad para enfocar a distancias reducidas
Lin et al. (2017) [444]	Individual enmascarado, brazo paralelo	Adultos que realizan trabajo visual terminal en pantalla durante $\geq 1$ h antes (n = 36)	Alto frente a bajo bloqueo de la luz azul lentes monofocales.	Sin luz azul bloqueante lentes monofocales con intervención enmarcado en una luz positiva frente a negativa a los participantes	2 h (individual sesión)	Síntomas reducidos e incremento en la fusión de parpadeo crítico
Singh et al. (2021) [351]	Enmascaramiento doble, brazo paralelo	usuarios sintomáticos de la computadora (n = 120)	Luz azul bloqueante lentes monofocales con intervención enmarcado en una luz positiva frente a negativa a los participantes	Sin luz azul bloqueante lentes monofocales con intervención enmarcado en una luz positiva frente a negativa a los participantes	2 h (individual sesión)	No hay diferencia en síntomas o críticos frecuencia de parpadeo

constituyentes (es decir, lípidos, acuosa o mucina) sobre los parámetros de la película lagrimal se asignaron aleatoriamente a 27 individuos con síntomas de sequedad relacionados con causas externas (definidas como el uso diario de lentes de contacto o de computadora  $\geq 4$  h al día) durante 1 mes [563], pero la ausencia de diferencias entre grupos no es sorprendente, dado el escaso tamaño de la muestra [377].

**8.7.2. Secretagogos tópicos de mucina**

Las mucinas son un componente integral de las lágrimas que limitan la desecación de la superficie ocular [564]. Un estudio controlado aleatorizado, abierto y con comparador activo realizado en Japón comparó la rebamipida tópica y la diquafosol en oficinistas con síntomas de sequedad que utilizaban una computadora durante  $>4$  h al día. En relación con el valor inicial, los participantes de ambos brazos de intervención mostraron una mejora de la estabilidad de la película lagrimal a las cuatro semanas seguimiento y redujeron los síntomas de sequedad a las 8 semanas de seguimiento. No se observaron efectos secundarios locales ni sistémicos, y ambos secretagogos mostraron una eficacia similar [565]. En un estudio de intervención no aleatorizado en pacientes con síntomas de sequedad, el diquafosol tópico, dosificado 6 veces al día, resultó eficaz para reducir algunos síntomas oculares, la tinción corneal con fluoresceína y mejorar el tiempo de ruptura lagrimal, en relación con un control de lágrima artificial [566].

**8.7.3. Otras intervenciones centradas en los ojos**

Un reciente estudio controlado aleatorizado con una sola máscara evaluó el efecto de un dispositivo de calentamiento de los párpados aplicado una vez, o a lo largo de 2 semanas, en 22 usuarios de pantallas digitales con mala estabilidad de la película lagrimal, en comparación con una máscara ocular no calentada en 23 controles [529]. Aunque se notificaron mejoras relativas al inicio en el tiempo de ruptura lagrimal y las puntuaciones de manchas en el grupo de calentamiento de los párpados incluso después de un único tratamiento, no se describieron las comparaciones entre grupos. En un estudio prospectivo de intervención dentro de un participante, 22 adultos con síntomas de sequedad que realizaban tareas informáticas con regularidad fueron evaluados en días separados durante los cuales habían llevado puestas durante 15 min lentes humectantes de calentamiento o habían utilizado colirios de lágrima artificial de hialuronato sódico al 0,1% [527]. Comparando los datos medidos tras una única exposición a los 60 min posteriores a la intervención, los síntomas de sequedad fueron menores y la estabilidad de la película lagrimal fue mayor cuando se utilizaron los lentes antihumedad, pero no hubo diferencias significativas entre condiciones en la altura del menisco lagrimal ni en el enrojecimiento ocular bulbar. En un estudio controlado aleatorizado de un único tratamiento con un dispositivo de calor latente (n = 25), un aerosol liposomal (n = 28) o una compresa caliente (n = 28) se observó que todos mejoraban el tiempo de ruptura no invasiva y el grado de la capa lipídica [567]. En un estudio de una sola visita con lentes antihumedad y rociador ocular liposomal [528].

**8.8. Intervenciones dietéticas****8.8.1. Suplementos de ácidos grasos omega-3**

Los suplementos orales de ácidos grasos omega-3, en diversas formulaciones, se han investigado ampliamente como terapia potencial para la enfermedad del ojo seco. En general, se considera que estos agentes modulan las vías inflamatorias sistémicas, y se ha demostrado que reducen la proinflamación lagrimal

niveles de citoquinas en pacientes con enfermedad de ojo seco [568] y promover la regeneración del nervio corneal en individuos con diabetes [569]. Aunque los estudios controlados aleatorizados individuales han informado de eficacias contradictorias, una revisión sistemática Cochrane de 2019 concluyó que, basándose en la totalidad de las pruebas, existía un posible papel de los suplementos orales de omega-3 de cadena larga en el tratamiento de la enfermedad del ojo seco [570]. No se ha estudiado el efecto sobre la tensión ocular digital. Los efectos de los ácidos grasos esenciales en la modulación de la salud de la superficie ocular de forma más amplia se tratan en detalle en el *Estilo de vida TFOS: Impacto de la nutrición en la superficie ocular* [571].

Dos estudios controlados aleatorizados de brazos paralelos, publicados por el mismo autor principal, investigaron el uso de ácidos grasos omega-3 de cadena larga por vía oral en individuos con presentaciones compatibles con la fatiga visual digital [572,573]. Los síntomas y la estabilidad de la película lagrimal mejoraron con la suplementación en ambos estudios, pero no en el grupo de control, mientras que otras métricas de la superficie ocular fueron más variables; un estudio se calificó como de alto riesgo de sesgo y el otro como de cierta preocupación (consultar la sección 8.11.2.3.3). Una revisión sistemática reciente [548] que agrupó los datos de estos dos estudios, informó de que, a pesar de la elevada heterogeneidad estadística, existía una certeza moderada de la reducción de los síntomas de sequedad con el suplemento de omega-3, en relación con el placebo, durante los periodos de intervención de 45-90 días. La dosis de ácidos grasos omega-3 utilizada en los ensayos osciló entre 600 mg y 2400 mg de ácido eicosapentaenoico y ácido docosahexaenoico combinados al día, lo que probablemente contribuya a la heterogeneidad observada. Ambos ensayos también informaron de resultados prometedores con mejoras paralelas observadas en la estabilidad de la película lagrimal [572,573].

**8.8.2. Suplementos de extracto de bayas**

Varios estudios controlados aleatorizados [303,574-580] han evaluado diversas formas de suplementos orales de extracto de bayas, durante periodos de intervención de hasta 12 semanas, para reducir la fatiga visual y los síntomas de sequedad en usuarios de computadoras. Las intervenciones investigadas comprenden diferentes formulaciones y regímenes de dosificación de extracto de arándano [303,576-580], arándano de pantano [577] y baya maqui [578]. El mecanismo potencial por el que estos agentes podrían ejercer su efecto como tratamiento de la fatiga visual digital no está establecido en la actualidad. A partir de los datos agrupados de siete estudios de este tipo, se ha informado de que, en relación con el placebo, la suplementación oral con bayas puede mejorar la fatiga visual con efectos de pequeños a moderados; sin embargo, la certeza de este hallazgo se consideró baja, debido a que los datos de los resultados eran incompletos, a los sesgos selectivos de los informes y a que la mayoría de los estudios contaban con patrocinio comercial [548]. También hubo pruebas de certeza baja con respecto a la ausencia de problemas de seguridad. Sólo dos ensayos evaluaron los resultados de la superficie ocular [303,578], e informaron de una mayor puntuación en la prueba de Schirmer tras cuatro semanas de ingesta oral de bayas de maqui en relación con un suplemento de placebo, pero no hubo ningún efecto sobre la estabilidad de la película lagrimal [578], como ocurrió con el suplemento oral de extracto de arándano [303].

**8.8.3. Otros suplementos**

Dos ensayos aleatorizados y controlados con placebo han informado de que los suplementos orales de carotenoides pueden reducir los síntomas oculares asociados al tiempo prolongado frente a la pantalla, pero ninguno de ellos evaluó los resultados en la superficie ocular

[581,582] Los estudios controlados aleatorizados también han evaluado una serie de suplementos "combinados" para tratar la fatiga visual digital, como el aceite de pescado con extracto de arándano y luteína [583], el extracto de castaña de agua y luteína [584], luteína, zeaxantina y extracto de grosella negra [585], antocianina, astaxantina y luteína [586], y éster de luteína, zeaxantina y extractos de grosella negra, crisantemo y bayas de goji (en tres dosis) [587]. De estos estudios, sólo dos evaluaron los parámetros de la superficie ocular, sin mostrar ningún beneficio con un suplemento de luteína, zeaxantina y extracto de grosella negra, en relación con el placebo, para las medidas de estabilidad de la película lagrimal durante seis semanas [586], mientras que otro suplemento a base de luteína mostró una mayor secreción lagrimal, medida mediante la prueba de Schirmer, en relación con el placebo después de 90 días [587].

### 8.9. Yoga

El yoga, una práctica milenaria que implica un conjunto de prácticas físicas, mentales y espirituales centradas en posturas, respiración regulada y meditación [588], también ha recibido interés como estrategia potencial para tratar la fatiga visual digital. Aunque el mecanismo por el que se produce es incierto, la hipótesis principal son los cambios en la frecuencia de parpadeo a partir de un estado de relajación elevado [520] o una postura optimizada. Dos artículos publicados [520,589] por el mismo autor principal describen los resultados de un estudio controlado aleatorizado de brazos paralelos realizado en la India que evaluó el efecto del yoga en comparación con una condición de control sobre los resultados relacionados con la visión en usuarios de computadoras. No se evaluaron los parámetros de la superficie ocular. En relación con los controles, se informó de que el grupo de intervención de yoga tenía menos fatiga visual general informada autónomamente después de 60 días [520], pero hubo una elevada deserción de participantes (>60%) en ambos grupos de intervención, y los participantes no estaban enmascarados.

### 8.10. Medicinas tradicionales

También se han investigado diversas medicinas tradicionales como posibles opciones de tratamiento de la fatiga visual digital. Los remedios tradicionales representan una gama heterogénea de enfoques, entre los que se incluyen las gotas oftálmicas Triphala y los comprimidos Saptamrita Lauha [590], las gotas oftálmicas a base de hierbas Itone [591,592], Shatavaryaadi Churna y Ghrita y Madhu Anupana por vía oral, Tarpana Karma con Go-Ghrita [593], Tila Taila Padabhyanga (masaje de pies con aceite de sésamo) [594] y triphala ghrita por vía oral [595]. Aunque muchos de estos ensayos informan de resultados positivos sobre los síntomas de la tensión ocular digital con el uso de la medicina tradicional, la mayoría de los estudios controlados aleatorizados no contaban con métodos de enmascaramiento adecuadamente informados y no se registraron prospectivamente, lo que crea un nivel de incertidumbre sobre los hallazgos del estudio.

### 8.11. Revisión sistemática y meta-análisis

Hasta la fecha no se ha realizado ninguna revisión sistemática centrada en el efecto de los tratamientos para la fatiga visual digital centrados específicamente en la superficie ocular. De ahí que investigar las pruebas clínicas mediante una metodología de revisión sistemática para abordar la pregunta: *¿Qué enfoques de tratamiento de la enfermedad de la superficie ocular reducen los síntomas asociados al uso de dispositivos digitales?* se consideró valioso para conocer si las intervenciones dirigidas a la enfermedad de la superficie ocular como causa de la fatiga visual digital producen mejoras significativas en los síntomas de los pacientes. A diferencia de la revisión narrativa (secciones 8.1-8.10), esta revisión sistemática se centró únicamente en el nivel más alto de pruebas de manejo disponibles de estudios de investigación primaria, en forma de estudios controlados aleatorizados. Debido a la heterogeneidad correspondiente, los resultados de la tensión ocular digital y de los síntomas de sequedad ocular tuvieron que fusionarse, por lo que los hallazgos reflejan los síntomas de sequedad ocular durante el uso de dispositivos digitales.

#### 8.10.1. Métodos

De acuerdo con el proceso seguido en cada uno de los informes de los talleres sobre el estilo de vida de la TFOS [1], el protocolo de revisión sistemática se registró prospectivamente en PROSPERO (CRD42022296735). La revisión sistemática en línea

para gestionar esta revisión se utilizó el programa informático de gestión de revisiones Covidence (Veritas Health Innovation, Melbourne, Australia).

**8.11.1.1. Búsquedas sistemáticas en la literatura.** Se realizaron búsquedas en Pubmed y EMBASE utilizando una estrategia de búsqueda predeterminada (Materiales suplementarios; Apéndice A1) dirigida a estudios controlados aleatorizados en lengua inglesa que investigaran cualquier intervención sobre enfermedades de la superficie ocular para reducir los síntomas de la fatiga visual digital. Las búsquedas se realizaron el 21 de diciembre de 2021 y el 10 de noviembre de 2022. No se aplicó ninguna restricción de fechas.

La fatiga visual digital se definió como "el desarrollo o la exacerbación de signos y/o síntomas oculares recurrentes relacionados específicamente con la visualización de dispositivos digitales". Por lo tanto, se consideraron aptos para su inclusión los estudios que se dirigían específicamente a poblaciones con fatiga visual digital diagnosticada o que investigaban el efecto de una intervención sobre los síntomas durante una tarea específica con dispositivos digitales.

**8.11.1.2. Cribado de títulos y resúmenes.** El título y los resúmenes fueron evaluados de forma independiente por dos de los tres autores (GL, RS, JSW) utilizando criterios de elegibilidad predefinidos (Cuadro 5). Los desacuerdos de elegibilidad se resolvieron mediante discusión en grupo. Cuando no estaba claro si una cita cumplía los criterios de elegibilidad, el registro pasaba al cribado del texto completo.

**8.11.1.3. Cribado de texto completo.** El cribado de textos completos fue realizado por un único autor (GL) de acuerdo con los criterios de elegibilidad (Cuadro 5). Un segundo autor (RS) revisó todos los artículos excluidos para confirmar que no cumplían los criterios de elegibilidad. En los casos ambiguos (planteados durante la primera o la segunda revisión), las decisiones se tomaron mediante discusión en grupo.

**8.11.1.4. Extracción de datos.** Los artículos elegibles se sometieron a una extracción de datos independiente por parte de dos revisores (GL, EKA) mediante una plantilla que se elaboró basándose en las medidas de resultado indicadas en el protocolo.

Los resultados primarios de esta revisión fueron el informe subjetivo de los síntomas de la tensión ocular digital o los síntomas del ojo seco mediante una puntuación compuesta, resumida o total, como la CVS-Q, o el índice de enfermedad de la superficie ocular. Aunque esta revisión pretendía investigar específicamente el tratamiento de la tensión ocular digital, se previó que los datos de resultados sobre los síntomas de ojo seco durante el uso de dispositivos digitales, un correlato de los síntomas de tensión ocular digital [29], podrían notificarse con mayor frecuencia.

Los resultados secundarios incluían la tensión ocular, la fatiga o el cansancio (estos términos a menudo estaban mal definidos y se utilizaban indistintamente), el ardor,

### Cuadro 5

Los criterios de inclusión y exclusión se aplicaron tanto en la fase de cribado del título y el resumen como en la de cribado del texto completo para la revisión sistemática.

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
<ul style="list-style-type: none"> <li>El estudio debe ser un estudio controlado aleatorizado (se aceptan los estudios directos y los estudios cruzados).</li> <li>Inclusión de una medida de resultado relacionada con síntomas de fatiga visual digital o síntomas de ojo seco</li> <li>La población de pacientes debe estar formada por participantes de cualquier edad con fatiga visual digital o que informen de resultados objetivo (consultar el criterio de inclusión 2) durante una tarea con dispositivos digitales</li> <li>Una intervención destinada a tratar una enfermedad de la superficie ocular, y que pertenezca a una de las siguientes categorías:                         <ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenciones conductuales</li> <li>Intervenciones medioambientales</li> <li>Lubricantes tópicos</li> <li>Colirios farmacéuticos tópicos</li> <li>Agentes farmacéuticos orales</li> <li>Suplementos vitamínicos y/o nutricionales orales</li> <li>Lentes que bloquean la luz azul</li> <li>Intervenciones de procedimientos oftálmicos</li> <li>Terapias alternativas o tradicionales</li> </ul> </li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>No publicado en inglés</li> <li>Estudios en no humanos</li> <li>No se trata de un artículo completo publicado (por ejemplo, un póster o un resumen de una conferencia)</li> </ol>

Picazón, sequedad, sensación de cuerpo extraño o arenilla, lagrimeo o lagrimeo, enrojecimiento, visión borrosa y deslumbramiento.

Para garantizar que los datos extraídos pudieran describirse adecuadamente mediante los estadísticos de la media y la desviación estándar (es decir, que no estuvieran muy sesgados), se impusieron limitaciones al tipo de datos elegibles para la extracción (Fig. 5). Cuando se informó de la mediana y los rangos intercuartílicos, la media y las desviaciones estándar se estimaron utilizando métodos propuestos anteriormente [596]. No se impusieron restricciones sobre el tipo de herramienta de evaluación de los síntomas empleada, ya que se esperaba que variara entre los distintos estudios. Los desacuerdos en la extracción de datos se resolvieron mediante discusión entre los dos extractores de datos (GL, EKA).

**8.11.1.5. Evaluación de la calidad y certeza de las pruebas.** Se utilizó la herramienta Cochrane de Riesgo de Sesgo 2 [597] para la valoración de la calidad. Dado que todos los síntomas de tensión ocular digital se evaluaron con frecuencia mediante el mismo método de evaluación, los síntomas de tensión ocular digital se consideraron un único resultado para la valoración. Se utilizó la herramienta estándar de riesgo de sesgo de grupos paralelos o de ensayos cruzados, según correspondiera. Las evaluaciones del riesgo de sesgo fueron completadas de forma independiente por dos evaluadores (GL y SS) y las discrepancias se resolvieron mediante discusión. Cuando existía un interés contrapuesto (por ejemplo, cuando figuraba como autor), el evaluador restante valoró el artículo en solitario. La certeza de la evidencia se evaluó para todos los resultados para los que podían extraerse datos de múltiples estudios para una intervención determinada y fue completada de forma independiente por dos evaluadores (GL, SS) utilizando el método de Calificación de recomendaciones, valoración, desarrollo y evaluación (GRADE, por sus siglas en inglés) [598]. Las discrepancias en las evaluaciones GRADE se resolvieron mediante discusión entre los dos evaluadores.

**8.11.1.6. Análisis estadístico.** Cuando los estudios tenían más de un brazo de intervención (por ejemplo, diferentes dosis del mismo tratamiento) o más de un brazo de comparación (por ejemplo, el mismo comparador bajo diferentes condiciones de iluminación), se combinaron los datos de ambos grupos utilizando las fórmulas descritas en el Manual Cochrane [599]. Sólo se utilizaron en el meta-análisis los datos que comparaban una intervención con ningún tratamiento o un placebo. Como las puntuaciones de los síntomas se registraron en escalas diferentes, se calcularon las diferencias de medias estandarizadas, para situar las puntuaciones de los resultados en la misma escala (unidades en desviaciones estándar) y permitir comparar los datos de cuestionarios diferentes. Se combinaron en un único meta-análisis los datos posteriores a la línea de base y los cambios con respecto a la línea de base, ya que se ha demostrado empíricamente que los resultados de tales combinaciones producen estimaciones agrupadas válidas [600].

La heterogeneidad estadística se evaluó mediante la estadística I<sup>2</sup>. Como

se esperaba heterogeneidad en los resultados de los estudios, se eligieron *a priori* modelos de efectos aleatorios. Cuando existía una heterogeneidad considerable, definida como I<sup>2</sup> ≥ 75%, no se calcularon las estimaciones agrupadas, ya que la variación entre los resultados de los estudios puede hacer que dicha combinación de resultados no sea válida [599].

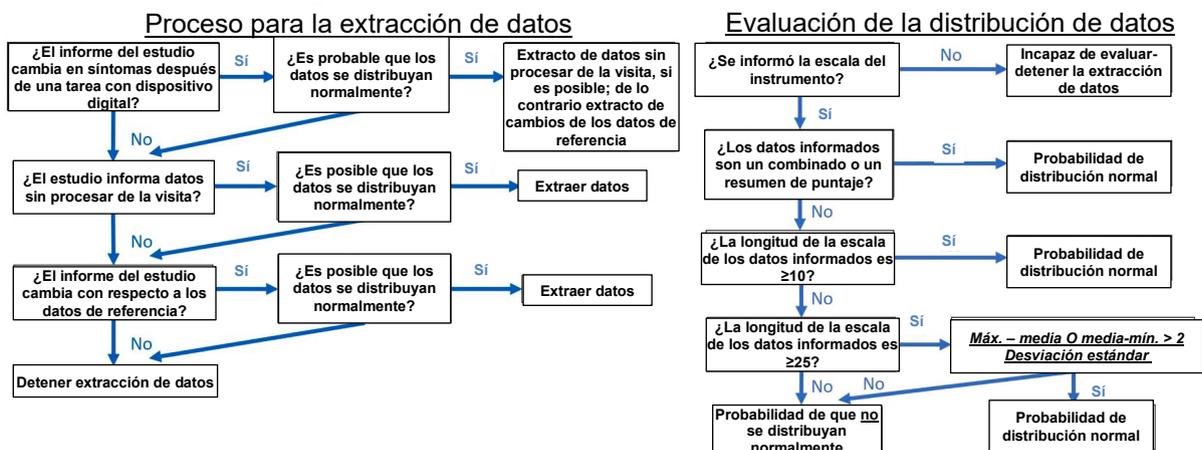
Los resultados se presentan como media ± desviación estándar, con intervalos de confianza (IC) del 95%. Para el meta-análisis se utilizó el paquete R (R Fundación para informática estadística, Viena, Austria) se agruparon los "meta" resultados mediante el método de la varianza inversa. Para proceder a un meta-análisis, dos o más estudios del mismo tipo de intervención debían presentar datos sobre el mismo resultado. Se utilizaron gráficos en embudo para evaluar el sesgo de publicación.

**8.11.1.7. Desviaciones del protocolo.** Hubo una desviación del protocolo publicado; estaba previsto que dos autores realizaran de forma independiente la criba de texto completo de todos los artículos. Debido a las limitaciones de tiempo, un solo autor completó la selección del texto completo. El sesgo potencial introducido a través de este proceso se minimizó haciendo que un segundo autor revisara todos los textos completos excluidos para asegurarse de que no habían sido excluidos de forma inapropiada. Además, los textos completos incluidos fueron vistos por otros revisores durante la extracción de datos y las evaluaciones del riesgo de sesgo, y cualquier duda sobre el cumplimiento de los criterios de inclusión se planteó durante este proceso.

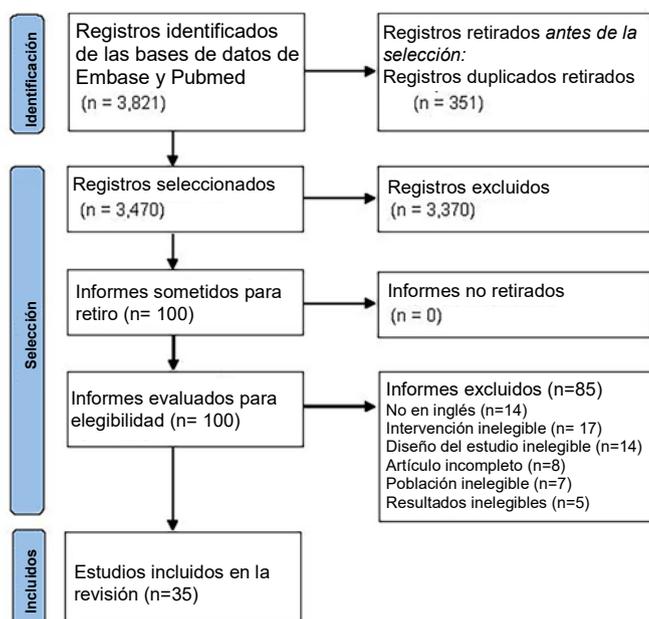
**8.10.2. Resultados**

**8.10.2.1. Revisión sistemática de la literatura.** La Fig. 6 ofrece una visión general de los resultados del proceso de revisión sistemática, incluidos los resultados de una búsqueda actualizada realizada el 10 de noviembre de 2022. En resumen, las búsquedas arrojaron 3,821 resultados, de los cuales 351 eran duplicados. De los 3,470 títulos únicos revisados, 3,323 (95.8%) títulos y 59 (1,7%) resúmenes suspendieron y superaron la revisión por unanimidad, respectivamente. Hubo 88 (2,5%) registros con decisiones contradictorias, de los cuales 47 (53%) fueron excluidos y 41 (47%) continuaron con el cribado de texto completo. El Kappa de Cohen para el acuerdo entre evaluadores en las comparaciones entre evaluadores fue de 0.58 (GL frente a RS) y de 0.53 (GL frente a JSW). Cien artículos se sometieron al cribado de texto completo y 65 (65%) fueron excluidos (Apéndice A2). Treinta y cinco artículos se consideraron últimamente aptos para su inclusión y se sometieron a la extracción de datos [84, 303,351,444,515,516,525,526,529,530,549,555,572-579,583,586,587,590,591,593,595,601-608].

El cuadro 6 resume las características de los estudios incluidos. Para todos los resultados de la tensión ocular digital, una puntuación más alta indica peores síntomas (más molestias) y una puntuación más baja indica síntomas menos graves. Las intervenciones se agruparon en las siguientes categorías: antioxidante



**Fig. 5.** Diagramas de flujo que muestran (izquierda) el proceso de toma de decisiones sobre qué datos extraer cuando los autores informan de más de un tipo de datos para un estudio determinado (por ejemplo, el cambio y la puntuación posterior a la línea de base) y (derecha) el proceso para determinar si era probable que los datos de resultados tuvieran una distribución normal. Mínimo y máximo se refiere a los valores mínimo y máximo posibles, basados en los límites superior e inferior de la escala utilizada para evaluar los síntomas, en lugar de los valores mínimo y máximo observados.



**Fig. 6.** Diagrama de flujo PRISMA que muestra los resultados de la búsqueda y revisión sistemática de la literatura. Se informa de los resultados de la búsqueda inicial (primer resultado) y de una búsqueda actualizada realizada el 10 de noviembre de 2022 (segundo resultado). Se describen los motivos de exclusión.

Suplementos, suplementos parabióticos, suplementos omega-3, lentes bloqueadoras de la luz azul, colirios lubricantes tópicos, recordatorios de parpadeo, promoción de las pausas de descanso, pantalla de visualización, humidificadores, intervenciones para calentar los párpados y terapias ayurvédicas.

Un estudio evaluó la tensión ocular digital en niños, otro en adolescentes y el restante evaluó la tensión ocular digital en participantes adultos. En todos los estudios se incluyó una mezcla de hombres y mujeres. De los 28 estudios que informaron de la participación de hombres y mujeres, las mujeres constituían entre el 38% y el 90% de la muestra total del estudio (mediana: 60%).

**8.10.2.2. Riesgo de sesgo y certeza de las pruebas.** Los resultados de la herramienta Cochrane de Riesgo de Sesgo 2 se muestran en la Fig. 7. Sólo se consideró que un estudio tenía un riesgo global de sesgo bajo; 18 estudios tenían "algunas preocupaciones", y 16 estudios se consideraron con un riesgo de sesgo alto. Once de los dieciocho (61%) estudios con una evaluación global del riesgo de sesgo de "algunas preocupaciones" la recibieron debido a la falta de un plan de análisis estadístico preespecificado o a la falta de información sobre un plan preespecificado. Otra razón común para recibir una clasificación de "cierta preocupación" en el ámbito 1 fue la falta de información sobre los métodos de aleatorización y asignación del tratamiento. Todos los estudios con un alto riesgo de sesgo recibieron esta clasificación debido (entre otras cosas) a preocupaciones en la medición del resultado (dominio 4), normalmente relacionadas con una falta de enmascaramiento de los participantes o un enmascaramiento inadecuado. La certeza de la evidencia GRADE se evaluó para cada intervención y resultado en los que se extrajeron datos de más de un estudio y se muestra en el cuadro 7. Por lo general, la certeza se degradó debido al riesgo de sesgo, ya que casi todos los estudios incluidos presentaban algunas preocupaciones o tenían un alto riesgo de sesgo general. Algunas evaluaciones se degradaron adicionalmente debido a la inconsistencia en la estimación del efecto o a la imprecisión (ya fuera por el pequeño tamaño de la muestra o por los amplios intervalos de confianza).

**8.10.2.3. Resultado primario.** De los 35 artículos elegibles para su inclusión en este estudio, se pudieron extraer los datos de resultado de 22 (62,9%) [84, 303,351,444,515,516,525,529,549,572-574,576-579,586,587,602,603,608]. Los datos de resultados sobre la tensión ocular digital, en concreto, estaban disponibles para cinco estudios [84,549,577,606,608]. Dado que había pocos datos específicos sobre la tensión ocular digital, y que los síntomas de ojo seco en los usuarios de dispositivos están correlacionados con los síntomas de tensión ocular digital [16], las puntuaciones resumidas de tensión ocular digital y de síntomas de ojo seco se fusionaron en una única puntuación primaria.

variable de resultado. Se utilizaron las puntuaciones de los síntomas de tensión ocular digital con preferencia a las puntuaciones de los síntomas de ojo seco cuando se disponía de datos sobre ambos resultados de un único estudio. Se dispuso entonces de datos sobre el resultado primario en 11 (31,4%) estudios [84,335,351,515,516,529,549,572,577,578,587,602,603,608].

Los resultados del meta-análisis para el resultado primario, desglosados por tipo de intervención, se muestran en la Fig. 8. En el análisis conjunto de dos estudios [351,549], la estimación del efecto de las diferencias medias estandarizadas para las lentes bloqueadoras de la luz azul fue coherente con la ausencia de efecto y la certeza de las pruebas se calificó como baja.

Las estimaciones del efecto de las intervenciones de recordatorio de parpadeo no se agruparon debido a la heterogeneidad ( $I^2 > 75%$ ). Individualmente, un estudio [516] clasificado como con algunas preocupaciones sobre el riesgo de sesgo no encontró un efecto significativo de la intervención sobre la tensión ocular digital o los síntomas del ojo seco, y el otro clasificado como de alto riesgo de sesgo [515] encontró que el software de recordatorio del parpadeo mejoraba significativamente los síntomas del ojo seco. La certeza de las pruebas se calificó como muy baja.

Dos estudios que utilizaron un suplemento de ácidos grasos omega-3 realizados por el mismo grupo de investigación informaron de una mejoría de los síntomas de la fatiga visual digital, en relación con el grupo de control [572,573]. Estos resultados no se agruparon debido a la elevada heterogeneidad entre los estudios y, por tanto, no se realizó una evaluación de la certeza de las pruebas, pero individualmente sugieren un efecto beneficioso con el uso de suplementos orales de ácidos grasos omega-3, teniendo los grupos de intervención una puntuación de los síntomas del ojo seco aproximadamente 1,5 desviaciones estándar inferior a la del grupo de control. La elevada heterogeneidad puede deberse a las diferentes dosis utilizadas; la dosis empleada en un estudio [572] (1440 mg de ácido eicosapentaenoico + 960 mg de ácido docosahexaenoico al día) fue dos veces el utilizado en el otro [573] (720 mg de ácido eicosapentaenoico + 480 mg de ácido docosahexaenoico al día). Uno de estos estudios se juzgó el alto riesgo de sesgo y la certeza general de las pruebas se evaluó como baja.

Los resultados de los estudios sobre suplementos antioxidantes orales tampoco se agruparon debido a la elevada heterogeneidad. Tres estudios informaron de hallazgos consistentes con la ausencia de efecto de la intervención sobre la tensión ocular digital o las puntuaciones de los síntomas del ojo seco, mientras que un estudio encontró que un suplemento antioxidante mejoraba la puntuación de los síntomas en aproximadamente 1.3 desviaciones estándar, en comparación con el grupo de control. De nuevo hubo diferencias en la dosificación o el producto de prueba específico; uno [587] utilizó un pigmento macular combinado (luteína, zeaxantina) y un suplemento antioxidante (extracto de bayas), mientras que otros estudios incluidos utilizaron un extracto de bayas [577,578] o un producto lácteo productor de hidrógeno [602] solo. La dosis de antioxidante no siempre fue comparable entre los estudios, utilizándose dosis de baya/extracto botánico de 2,800 mg/día [587], 1.000 mg/día [577] y 120 mg/día [578], y otro [602] utilizó 4.2 g/día de ingredientes activos productores de hidrógeno. No hubo pruebas de sesgo de publicación en los gráficos en embudo para todos los tipos de intervención (Fig. S1). La certeza GRADE de las pruebas fue muy baja.

Para interpretar las diferencias medias estandarizadas que se muestran en la Fig. 8, se agruparon las desviaciones estándar basales de los tres estudios que informaron de los resultados basales del CVS- Q (10,15 [84]; 6,01 [577]; 3,92 [351]: desviación estándar agrupada = 7.43). Una diferencia de -0.75 desviaciones estándar en los síntomas se relaciona con una puntuación del cuestionario aproximadamente 5.6 unidades inferior (puntuación máxima = 32), en relación con el grupo de control, y una desviación estándar -1.5 de diferencia en la puntuación de los síntomas se refiere aproximadamente a un puntaje en el cuestionario de baja unidad 11.2.

**8.10.2.3.1. Intervenciones con suplementos antioxidantes.** Diez estudios investigaron el efecto de un suplemento que contuviera antioxidantes para aliviar la fatiga visual digital o los síntomas del ojo seco [303,574-579,586,587,602]. Se pudieron extraer datos de resultados primarios o secundarios de todos los estudios sobre suplementos antioxidantes e incluirlos en el meta-análisis. Cuatro estudios investigaron una dosis de extracto de bayas de 120-160 mg/día [574,578,579,586], tres estudios utilizaron una dosis de 480-550 mg/día [303,575,576], y los tres estudios restantes utilizaron una dosis de extracto de bayas de 1,000 mg/día [577], una dosis de extracto de bayas/botánico de 2,800 mg/día [587] o 4.2 g/día de hidrógeno activo productor de

**Cuadro 6**

Características de los estudios controlados aleatorios incluidos.

Primer autor y año	Diseño del estudio	Intervención	Comparador	n	Herramienta de evaluación de síntomas	Población participante	Tiempo de seguimiento
<b>Intervenciones con suplementos antioxidantes</b>							
Liang 2017 [574]	PG	Antocianina oral [115,8 mg/día]. (extracto de arándano [160 mg/día])	Cápsula de placebo	22	Escala Likert de 6 puntos	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	6 semanas
Okamoto 2018 [575]	PG	Antocianina oral [60 mg/día] (extracto de arándano [550 mg/día])	Cápsula de placebo	39	VAS	Adulto (de 33 a 68 años) usuarios de dispositivos con síntomas	12 semanas
Kan 2020 [587]	PG	Luteína, zeaxantina y antocianina (crisantemo, goji extracto de bayas y moras [2800 mg/día] <sup>a</sup> )	Cápsula de placebo	360	Administración de Alimentos y Medicamentos de China Cuestionario sobre la fatiga ocular	Adulto (edad media 38 años) usuarios de dispositivos con síntomas	90 días
Okamoto 2019 [576]	PG	Antocianina oral [60 mg/día] (extracto de arándano [550 mg/día])	Cápsula de placebo	35	VAS	Adulto (edad media 38 años) usuarios de dispositivos con síntomas	12 semanas
Sekikawa 2021 [579]	PG	Antocianina oral [43,2 mg/día].	Cápsula de placebo	32	Escala Likert de 6 puntos	Adulto (edad media 37 años)	6 semanas
Kizawa 2021 [586]	PG	Antocianina oral [72 mg/día] (extracto de arándano [120 mg/día]), astaxantina y luteína	Cápsula de placebo	40	Escala Likert de 6 puntos	Adulto (de 20 a 59 años) usuarios de dispositivos con síntomas	6 semanas
Yamashita 2019 [578]	PG	Antocianina oral [42 mg/día] (extracto de bayas de maqui [120 mg/día])	Cápsula de placebo	74	DEQS y SVA	Adulto (edad media 45 años) usuarios de dispositivos con síntomas	4 semanas
Kawashima 2019 [602]	PG	H2 -leche productora [activo: 4,2 mg/día]	Leche placebo	54	DEQS y SVA	Adulto (de 20 a 59 años) usuarios de dispositivos con síntomas	3 semanas
Park 2016 [577]	PG	Antocianina oral [1000 mg/día] (extracto de arándano [96 mg/día])	Píldora placebo	50	VRSQ modificado	Adultos (de 22 a 64 años) usuarios de dispositivos	4 semanas
Ozawa 2015 [303]	PG	Antocianina oral (extracto de arándano [480 mg/día])	Cápsula de placebo	80	VAS	Adulto (edad media 31 años) usuarios de dispositivos con síntomas	8 semanas
<b>Intervenciones con suplementos parabióticos</b>							
Morita 2018 [603]	PG	Lactobacillus paracasei muerto por calor cápsula [50 mg/día]	Cápsula de placebo	59	DEQS y VAS	Adultos (edad media 40 años) usuarios de dispositivos con síntomas	8 semanas
<b>Suplementos de ácidos grasos omega-3</b>							
Bhargava 2015 [573]	PG	EPA y DHA por vía oral [2400 mg/día].	Cápsula de placebo	456	DESS	Adulto (edad media 23 años) usuarios de dispositivos con síntomas	3 meses
Bhargava 2016 [572]	PG	EPA y DHA orales [600 mg/día]	Cápsula de placebo	522	DESS	Adulto (edad media 29 años) usuarios de dispositivos con síntomas	45 días
<b>Suplementos combinados de ácidos grasos omega-3 y antioxidantes</b>							
Kawabata 2011 [583]	PG	EPA y DHA orales [945 mg/día], antocianidina [59 mg/día] (extracto de arándano [240 mg/día]) y luteína	Cápsula de placebo	20	Cuestionario de astenopía de Nakamura	Adultos (edad media 25 años) usuarios de dispositivos con síntomas	4 semanas
<b>Intervenciones para bloquear la luz azul</b>							
Dabrowiecki 2020 [549]	CO	Lentes de protección contra la luz azul	Lentes transmisores de luz azul	10	CVS-Q	Becarios de radiología de adultos	5 días
Singh 2021 [351]	PG	Lentes que bloquean la luz azul	Lentes transmisores de luz azul	120	CVS-Q y EAV	Adulto (21-30 años) usuarios de dispositivos con síntomas	2 h
Lin 2017 [444]	PG	Lentes con alto bloqueo de la luz azul	Bajo bloqueo de la luz azul o lentes que emiten luz azul	36	Cuestionario en escala Likert (5 puntos)	Adultos (edad media 24 años) estudiantes universitarios sin síntomas	2 h
Vera 2022 [555]	PG	Filtro de pantalla con bloqueo de luz azul	Filtro sin bloqueo de luz azul	23	Escala ordinal de 5 puntos	Adultos (edad media 22.9 años) sin síntomas	30 min
<b>Gotas oftálmicas lubricante tópico</b>							
Rajendraprasad 2021 [604]	HH	Gota oftálmica de carboximetilcelulosa al 0.5% [DNS]	Gotas oftálmicas de hidroxipropilmetilcelulosa al 0.3%	180	OSDI	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	90 días
killling 2005 [605]	HH	Gotas oftálmicas de polisorbato 80 al 0.5% [2-4 gotas/día]	Gota oftálmica de tetrahidrozolina	50	Escala ordinal de 4 puntos	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	5 día
<b>Intervenciones de recordatorio de parpadeo</b>							
Ashwini 2021 [516]	PG	Software Blink-blink	Placebo blink-blink software	46	OSDI	Adultos (de 18 a 45 años) usuarios de dispositivos con síntomas	4 semanas
Nosch 2015 [515]	CO	Software Blink-blink	Placebo blink-blink software	24	OSDI	Adulto (edad media 39 años) usuarios de dispositivos con síntomas	7 días

(continúa en la página siguiente)

**Cuadro 6 (continuación)**

Primer Autor y año	Diseño del estudio	Intervención	Comparador	n	Herramienta de evaluación del síntoma	Población principal	Tiempo de seguimiento
<b>Intervenciones de promoción de las pausas de descanso</b>							
Lertwisuttipaiboon Zheng 2021 [606]	PG	Programa educativo de atención oftalmológica	Sin intervención	70	Tensión ocular (sí/no)	Adultos oficinistas	8 semanas
	PG	Aplicación de retransmisión en directo para promover el descanso y actividad física	Educación para la salud estándar	954	CVS-Q	Escolares (media edad 13 años) utilizando dispositivos para aprender	2 semanas
<b>Intervenciones de tipo pantalla</b>							
Yuan 2021 [84]	PG	Pantalla de papel electrónico (no emisor de luz)	pantalla de diodos de emisión de luz orgánica(OLED)	119	CVS-Q y OSDI	Estudiantes Universitarios adultos(de 19 a 30 años) sin síntomas	2 h
Mou 2022 [608]	PG	Pantalla de emisión de luz polarizada circularmente	pantalla emisora de luz polarizada linealmente-	120	CVSS17 y OSDI	Estudiantes universitarios adultos (edad media 25.9 años)	2 h
<b>Humidificadores</b>							
Yee 2007 [530]	CO	Lentes de microambiente	Gotas oftálmicas lubricante o no tratamiento	40	OSDI	Usuarios adultos (20-60 años) de dispositivos sin síntomas	30 min
Wang 2017 [526]	CO	Humidificador USB de sobremesa	Humidificador USB inactivo	44	Escala de 3 puntos: comodidad mayor, igual o menor	Adulto (edad media 21 años) usuarios de dispositivos	1 h
Hirayama 2013 [525]	PG	Dispositivo de aire frío húmedo	Sin tratamiento	20	VAS	Adulto (de 23 a 42 años) usuarios de dispositivos	5 días
<b>Intervenciones para calentar los párpados</b>							
Sol 2020 [529]	PG	Vaporizador para calentar los párpados	Dispositivo placebo (sin calor)	45	DEQS	Adultos (edad media 36 años) usuarios de dispositivos con síntomas	2 semanas
<b>Intervenciones terapéuticas ayurvédicas</b>							
Sawant 2013 [595]	PG	Triphala Ghrita Tarpan (Ghee tópico) [DNS]	Ejercicios oculares	60	Escala de 3 puntos alivio del síntoma	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	3 meses
Gangamma 2010[590]	PG	Gotas oftálmicas de triphala [4 gotas/día] ± Saptamrita Lauha oral [1000 mg/ día]	Comprimidos placebo y gotas oftálmicas	151	Poco claro	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	30 días
Chatterjee 2005[601]	PG	Gotas oftálmicas herbáceas (itone) [4 gotas/ día]	Lubricante o gotas oftálmicas placebo	120	Poco claro	Adulto (edad media 27 años) usuarios de dispositivos con síntomas	6 semanas
Biswas 2003 [591]	PG	Gotas oftálmicas herbáceas (itone) [8 gotas/ día]	Lubricante o gotas oftálmicas placebo	120	Poco claro	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	6 semanas
Dhiman 2012 [593]	PG	Shatavaryaadi Churna oral [6 g/día] ± Ghee tópico [DNS]	Asesoramiento sobre cambios en los comportamientos de uso de dispositivos	30	Poco claro	Usuarios adultos de dispositivos con síntomas	1 mes

La dosis y/o la frecuencia del tratamiento se indican entre corchetes. DNS: Dosis no especificada; PG: Diseño de grupos paralelos; CO: Diseño cruzado; HH: Diseño cabeza a cabeza; EPA: ácido eicosapentaenoico; DHA: ácido docosahexaenoico; CVS-Q: Cuestionario del síndrome visual informático; CVSS17: Escala del síndrome visual informático 17; OSDI: Índice de enfermedad de la superficie ocular; VAS: Escala analógica visual; DEQS: Puntuación de la calidad de vida relacionada con el ojo seco; MDEQ: Cuestionario de McMonnies sobre el ojo seco; DESS: Ojo seco Scoring System; USB: Universal Serial Bus; años: años.

<sup>a</sup> Media de las tres dosis de 1750, 2569 y 4081 mg/día.

ingredientes [602]. Un estudio investigó además una combinación de suplementos de omega-3 y antioxidantes [583], pero sus datos no cumplían los criterios de tener una distribución aproximadamente normal y no se incluyeron en el meta-análisis (consultar la sección 8.11.2.6). Los resultados del meta-análisis de los resultados secundarios en los estudios que utilizaron una intervención con suplementos antioxidantes se muestran en la Fig. 9.

El uso de suplementos antioxidantes no se asoció a una mejora significativa de la mayoría de los síntomas de los resultados secundarios, incluida la sensación de ardor ocular (diferencias de medias estandarizadas = -0.47 [favorables a intervención], IC 95%: -1.03, 0.09), con la excepción sensación de cuerpos extraños de picazón, para la que el tratamiento se asoció a una modesta mejora de los síntomas. Las cápsulas de placebo obtuvieron mejores resultados que los suplementos antioxidantes para el tratamiento del prurito. No hubo pruebas de sesgo de publicación sistemático en los gráficos en embudo (Fig. S2). Para todos los resultados secundarios, la certeza de las pruebas se evaluó como muy baja para la sensación de cuerpo extraño, el prurito y el deslumbramiento, y como baja para la fatiga o tensión ocular, la sequedad, el lagrimeo o lagrimeo, el enrojecimiento ocular y la visión borrosa.

8.10.2.3.2. *Suplemento parabiótico.* Un estudio investigó un suplemento parabiótico con supuestas propiedades antiinflamatorias como intervención para adultos con fatiga visual digital [603]. No hubo diferencia significativa en la puntuación de la calidad de vida relacionada con el ojo seco entre los grupos de intervención y placebo (semana 4: diferencia media = 3.3 [favorece

comparador], IC 95%: -5.9, 12.5; semana 8: diferencia media = 2.2 [favorece al comparador], IC 95%: -7.1, 11.5). Además, no hubo diferencias significativas en el cambio en el desenfoque visual notificado (semana 4: diferencia media = -0.6; IC del 95%: -9.1, 7.9; semana 8: diferencia media = -1.8; IC del 95%: -5.9, 12.5) IC: -10.1, 6.5), lagrimeo (semana 4: diferencia media = -1.1, IC 95%: -9.8, 7.6; semana 8: diferencia media = 5.3, IC 95%: -2.1, 12.7), deslumbramiento (semana 4: diferencia media = -1.0, IC 95%: -11.0, 9.0; semana 8: diferencia media = -1.6, IC 95%: -7.2, 10.4) y enrojecimiento (semana 4: diferencia media = 7, IC 95%: -1.2, 15.2; semana 8: diferencia media = 5, IC 95%: -3.5, 13.5) desde antes hasta después de 2 h de uso del dispositivo digital, medido con una escala analógica visual.

8.10.2.3.3. *Suplementos de ácidos grasos omega-3.* Dos estudios [572,573] del mismo grupo de investigación investigaron la suplementación oral con ácidos grasos omega-3 y ambos hallaron una mejora significativa de los síntomas de la tensión ocular digital a las 6-12 semanas de seguimiento (Fig. S1); sin embargo, no se pudieron agrupar los resultados debido a la elevada heterogeneidad. La tasa de abandonos en ambos estudios fue baja (~5%), aunque en uno de ellos se utilizó el enfoque de la última observación arrastrada para los datos que faltaban [572], una técnica potencialmente inapropiada dado que las puntuaciones de los síntomas tienden a cambiar con el tiempo. Un estudio adicional estudió el efecto de un suplemento combinado de omega-3 y antioxidantes [583], pero no informó de diferencias significativas en ninguna de las medidas de resultado secundarias relevantes (ojo

Primer autor	Año	Tipo de intervención	D1	DS	D2	D3	D4	D5	General
Kan	2020	Antioxidante	!		+	+	+	!	!
Kawashima	2019	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Kizawa	2021	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Liang	2017	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Okamoto	2018	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Okamoto	2019	Antioxidante	+		!	!	+	!	!
Ozawa	2015	Antioxidante	!		+	+	+	!	!
Park	2016	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Sekikawa	2021	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Yamashita	2019	Antioxidante	+		+	+	+	!	!
Biswas	2003	Ayurvédica	!		+	+	+	!	!
Chatterjee	2005	Ayurvédica	!		+	+	+	!	!
Dhiman	2012	Ayurvédica	!		+	+	+	!	!
Gangamma	2010	Ayurvédica	+		+	+	+	!	!
Sawant	2013	Ayurvédica	!		+	+	+	!	!
Ashwini	2021	Recordatorio de parpadeo	+		+	+	+	!	!
Nosch	2015	Recordatorio de parpadeo	+	!	+	+	+	!	!
Dabrowiecki	2019	Lentes contra luz azul	+	!	+	+	+	!	!
Lin	2016	Lentes contra luz azul	+		!	!	+	!	!
Singh	2021	Lentes contra luz azul	+		+	+	+	!	!
Vera	2022	Filtro contra luz azul	!	+	+	+	+	!	!
Yuan	2020	Pantalla	!		+	+	+	!	!
Mou	2022	Pantalla	+		+	+	+	!	!
Sun	2020	Calentador de párpados	!		+	+	+	!	!
Hirayama	2013	Humidificador	!		!	!	+	!	!
Sperling	2007	Humidificador	+	!	!	!	+	!	!
Wang	2017	Humidificador	+	!	+	+	+	!	!
Bhargava	2016	Omega-3	+		+	+	+	!	!
Bhargava	2015	Omega-3	+		+	+	+	!	!
Kawabata	2011	Omega-3 + antioxidante	!		+	+	+	!	!
Morita	2018	Probiótico	+		+	+	+	!	!
Lertwisuttipaiboon	2017	Descansos	!		+	+	+	!	!
Zheng	2021	Descansos	!		!	!	+	!	!
Rajendraprasad	2021	Lubricante tópico	+		!	!	+	!	!
Skilling	2004	Lubricante tópico	!		+	+	+	!	!

+ Bajo riesgo  
! Algunas preocupaciones  
! Riesgo alto

D1 Proceso de aleatorización  
 D2 Desviaciones de las intervenciones previstas  
 D3 Falta de datos de resultados  
 D4 Medición de los resultados  
 D5 Selección del resultado del informe

Fig. 7. Calificaciones de la herramienta Cochrane de Riesgo de Sesgo 2 para todos los estudios incluidos, ordenados por tipo de intervención. D1 es el dominio 1, D2 es el dominio 2, etc. El dominio S sólo es aplicable a los estudios cruzados.

fatiga, sequedad y enrojecimiento) entre los grupos de intervención y placebo.

8.10.2.3.4. *Lubricantes tópicos.* Dos estudios controlados aleatorizados cara a cara [604,605] compararon colirios lubricantes tópicos para el tratamiento de la fatiga visual digital. En un estudio abierto [604] de carboximetilcelulosa tópica al 0.5% frente a hidroxipropilmetilcelulosa tópica al 0.3%, los participantes que utilizaron carboximetilcelulosa al 0.5% tuvieron una puntuación media más baja en el Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular después de 15 días (diferencia de medias = -0.83, IC 95%: -1.56, -0.10), 30 (diferencia media = -1, IC 95%: -1.88, -0.12) y 90 días (-0.91, IC 95%: -1.71, -0.11). Sin embargo, el efecto (una diferencia de 1 unidad en la puntuación del Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular) es poco probable que sea clínicamente significativo. Otro estudio comparó el lubricante tópico polisorbato-80 al 0.5% con el clorhidrato de tetrahidrozolina tópico y no encontró diferencias en la proporción de participantes que declararon sentirse "muy cómodos" visualmente en el grupo de polisorbato-80 en comparación con el de clorhidrato de tetrahidrozolina (cociente de probabilidades: 1.23; IC del 95%: 0.63, 2.42) [605].

8.10.2.3.5. *Lentes bloqueadoras de la luz azul.* Cuatro estudios investigaron el efecto de las lentes bloqueadoras de luz azul o los filtros de pantalla sobre los síntomas de la fatiga visual digital. Un estudio no comunicó los resultados en un formato que pudiera extraerse, pero los tres restantes comunicaron datos aptos para su inclusión en el meta-análisis de resultados primarios o secundarios. En general, el riesgo de sesgo se evaluó como bajo para un estudio [351], como algo preocupante para dos estudios [444,549] y de alto riesgo para el estudio restante [555] (gráficos en embudo en la Fig. S3). No se observó ningún efecto significativo de las lentes bloqueadoras de la luz azul en el resultado primario (Fig. 8) ni en los resultados secundarios de tensión ocular o fatiga o deslumbamiento (Fig. 10), sequedad,

ardor, lagrimeo o lagrimeo [351], con la excepción del picazón, que sólo se evaluó en un estudio y resultó ser menor (más cómodo) en el grupo de lentes con bloqueo de la luz azul (diferencias medias estandarizadas = -0.98; IC del 95%: -1.71; -0.25) [444]. Dos estudios evaluaron el efecto de las lentes con bloqueo de la luz azul sobre la visión borrosa y ambos tuvieron hallazgos potencialmente consistentes con la ausencia de efecto; sin embargo, el efecto estimado de uno favoreció a la intervención mientras que el otro favoreció al comparador (Fig. 10) y estos resultados no se agruparon debido a esta heterogeneidad. No se pudieron extraer datos de un estudio [555], pero no informó de ningún cambio significativo en el cansancio ocular tras una tarea de lectura de 30 min entre las condiciones con filtro de luz azul y sin filtro de luz azul. La certeza de las pruebas se evaluó como baja para el cansancio o fatiga ocular y muy baja para la visión borrosa y el deslumbamiento.

8.10.2.3.6. *Recordatorios de parpadeo.* Dos estudios investigaron el efecto de las intervenciones de recordatorio de parpadeo sobre la fatiga visual digital [515,516]. La intervención en ambos estudios consistió en un software que presenta un recordatorio para parpadear cuando se utiliza un dispositivo digital a intervalos especificados (4 y 8 presentaciones/min). Las intervenciones de recordatorio de parpadeo no se estimaron debido a la elevada heterogeneidad. Un estudio tuvo una estimación del efecto consistente con la ausencia de efecto [516], mientras que el otro encontró una mejoría significativa de los síntomas del ojo seco (Fig. 10), pero también se consideró que tenía un alto riesgo de sesgo [515]. No se dispuso de datos sobre resultados secundarios. 8.11.2.3.7. *Pausas de descanso.* Dos estudios promovieron las pausas de descanso en un esfuerzo por reducir la fatiga visual digital o la sensación de estrés [606,607]. Ninguno pudo enmascarar a los participantes de su grupo de intervención asignado. Uno [606] utilizó una aplicación de transmisión en directo para animar a los niños a tomarse descansos del uso de dispositivos digitales durante la escolarización en línea. Cuadrado

**Cuadro 7**

Grado de calificaciones, valoración, desarrollo y evaluación (GRADE) [598] valoraciones de la certeza del conjunto de pruebas, para las intervenciones para el manejo de la fatiga visual digital.

Intervención	Resultado	Certeza GRADE	Motivo de degradación
Suplementos antioxidantes	Puntuación de los síntomas de ojo seco o tensión ocular digital	⊕⊕⊕⊕ Muy bajo	Se rebajó tres niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía un riesgo de sesgo global alto y tres estudios tenían en general algunas preocupaciones) y a la inconsistencia (heterogeneidad alta).
	Tensión o fatiga ocular	⊕⊕⊕⊕ Bajo	Degradado en dos niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía en general un alto riesgo de sesgo y ocho estudios tenían en general algunas preocupaciones).
	Sequedad	⊕⊕⊕⊕ bajo	Degradado en dos niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía un alto riesgo general de sesgo y seis estudios tenían en general algunas preocupaciones).
	Sensación de cuerpo extraño	⊕⊕⊕⊕ Muy bajo	Se rebajó en tres niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía un riesgo de sesgo global alto y un estudio tenía en general algunas preocupaciones) y a la imprecisión (tamaño de la muestra pequeño).
	Picazón	⊕⊕⊕⊕ Muy bajo	Degradado en tres niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía en general un alto riesgo de sesgo y otro tenía en general algunas preocupaciones) y a la imprecisión (tamaño pequeño de la muestra).
	Riego o lagrimeo	⊕⊕⊕⊕ Bajo	Degradado en dos niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía en general un alto riesgo de sesgo y cinco estudios tenían en general algunas preocupaciones).
Lentes contra la luz azul	Puntuación de los síntomas de ojo seco o tensión ocular digital	⊕⊕⊕⊕ Bajo	Se degradó dos niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio presentaba algunas dudas en la evaluación del riesgo de sesgo) y a la imprecisión (intervalo de confianza agrupado amplio).
	Tensión o fatiga ocular	⊕⊕⊕⊕ Bajo	Degradado en dos niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio presentaba algunas dudas en la evaluación del riesgo de sesgo) e imprecisión (intervalo de confianza agrupado amplio).
	Visión borrosa	⊕⊕⊕⊕ Muy bajo	Degradado en tres niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio presentaba en general algunas dudas), inconsistencia (alta heterogeneidad) e

**Cuadro 7 (continuación)**

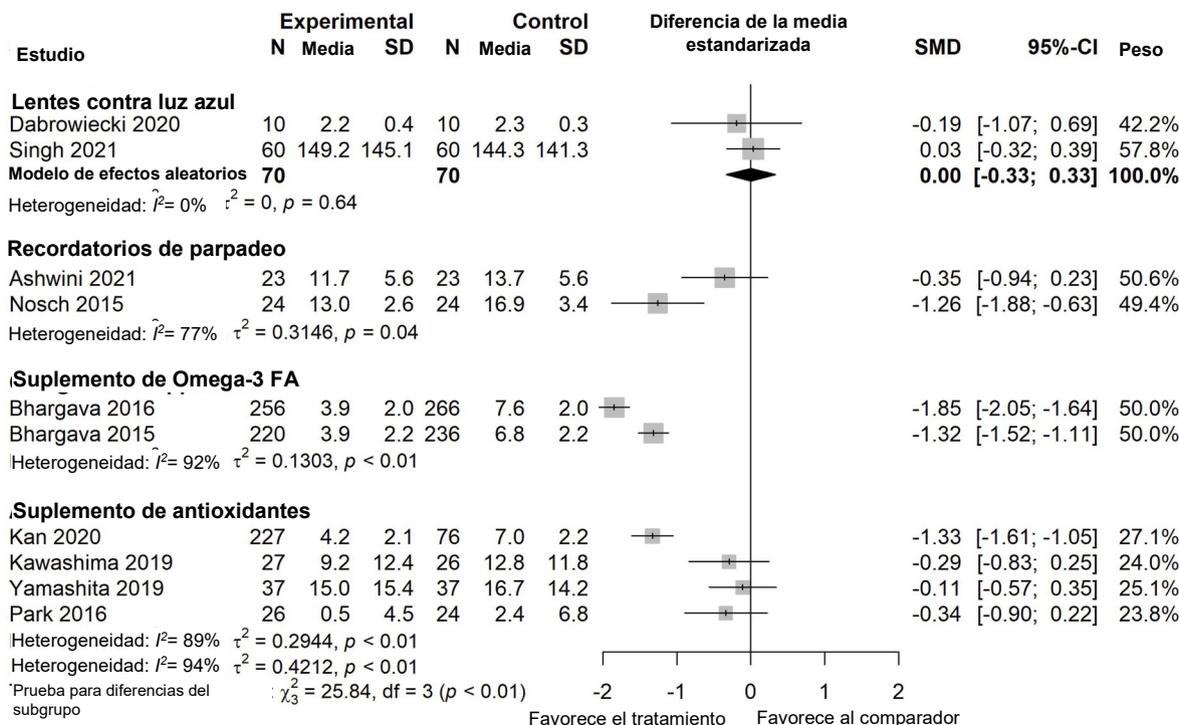
Intervención	Resultado	Certeza GRADE	Motivo de degradación
	Deslumbramiento	⊕⊕⊕⊕ Muy bajo	Imprecisión (amplios intervalos de confianza) Degradado tres niveles debido al riesgo de sesgo (ambos estudios presentaban en general algunas preocupaciones) y a la imprecisión (pequeño tamaño de la muestra agrupada).
Recordatorio de parpadeo	Puntuación de los síntomas de ojo seco o tensión ocular digital	⊕⊕⊕⊕ Muy bajo	Degradado en tres niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía en general un alto riesgo de sesgo y otro tenía en general algunas preocupaciones) y a la imprecisión (tamaño pequeño de la muestra).
Ácidos grasos omega-3	Puntaje de síntomas de fatiga ocular digital u ojo seco	⊕⊕⊕⊕ Bajo	Degradado en dos niveles debido al riesgo de sesgo (un estudio tenía alto riesgo general de sesgo y uno tenía algunas preocupaciones).

Los síntomas de tensión ocular digital transformados de raíz fueron significativamente menores en el grupo de intervención, en comparación con el de no intervención, al cabo de 2 semanas (diferencia media = -0.15; IC del 95%: -0.28; -0.02). Los otros desarrollaron un programa de capacitación oftalmológica para animar a los oficinistas a tomar regularmente pausas de descanso durante el uso del dispositivo [607]. A las 4 y 8 semanas después de la formación sobre cuidados oculares, la proporción de participantes que declararon síntomas de tensión ocular fue menor en el grupo de intervención, en comparación con el grupo de no intervención (intervención frente a grupo de control, semana 4: cociente de probabilidades = 0.11; IC 95%: 0.03, 0.31; semana 8: cociente de probabilidades = 0.10; IC 95%: 0.03, 0.29).

**8.11.2.3.8. Humidificadores.** Tres estudios investigaron intervenciones dirigidas a aumentar la humedad en el ambiente o alrededor de los ojos [525,526,530]. En un estudio se utilizó un dispositivo de aire frío húmedo, La sequedad ocular informada autónomamente evaluada mediante escala analógica visual fue mejor con respecto al valor inicial en el grupo de intervención después de 5 días, pero no fue significativamente diferente al grupo placebo (diferencia media = -1.2; IC 95%: -4.0, 1.6) [525]. En un segundo estudio, después de 1 h de utilizar un humidificador de Bus Serie Universal (USB) de sobremesa (aumentó la humedad en un 5%), los participantes del grupo de intervención tenían más probabilidades de notificar una mejora del confort subjetivo (cociente de probabilidades = 12, IC 95%: 2.6, 56.3) y menos probabilidades de notificar una disminución del confort subjetivo (cociente de probabilidades = 0.08, 95% CI: 0.02, 0.30) [526]. En un tercer estudio se utilizaron lentes de microambiente, unas lentes con juntas periorbitarias que aíslan la superficie ocular del entorno circundante, lo que provoca una mayor humedad en las inmediaciones de la superficie ocular [530]. Tras 30 minutos de uso del dispositivo digital por usuarios sintomáticos del mismo, el uso de los lentes de microambiente se asoció a una puntuación ligeramente inferior del Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular (es decir, mayor comodidad), en comparación con la ausencia de tratamiento (puntuación media del Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular: 1.68 frente a 2.63, respectivamente, p < 0.05). Sin embargo, no se enmascaró a los participantes en la asignación del tratamiento. No se informó de la desviación estándar ni de la escala de los resultados. En los dos estudios que informaron de diferencias medias, el tamaño del efecto de la intervención fue pequeño y poco probable que fuera clínicamente sustancial. El estudio de un humidificador USB de sobremesa encontró un gran tamaño del efecto para mejora de la comodidad, pero podría obtenerse una comprensión más matizada del efecto de la intervención evaluando la comodidad en una escala continua, en lugar de dicotómica.

**8.11.2.3.9. Calentamiento de los párpados.** Un estudio [529] investigó el uso de un calentador de párpados, un dispositivo que genera calor y vapor sobre los párpados, sobre los síntomas de la tensión ocular digital. Se observó que la puntuación de la calidad de vida relacionada con la sequedad ocular mejoró tras 2 semanas de tratamiento, pero no fue significativamente diferente a la del grupo placebo (dispositivo de la misma apariencia que no generaban calor) en la visita de 2 semanas (diferencia media = -6.1 [a favor de la intervención], IC 95%: -14.5, 2.3).

**8.11.2.3.10. Tipo de pantalla.** Un estudio examinó el impacto de una pantalla de papel electrónico en la fatiga visual digital [84]. En comparación con la intervención de control (pantalla orgánica de diodos emisores de luz), los participantes del grupo de intervención tenían una puntuación más baja en el Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular



**Fig. 8.** Diagrama de caja y bigote de los resultados del meta-análisis de la puntuación sumaria de la tensión ocular digital o de los síntomas del ojo seco, subagrupados por tipo de intervención. Sólo se incluyen los datos de los 12 estudios que informaron de una puntuación de resumen elegible. Los estudios individuales también informaron de puntuaciones de resumen elegibles para las intervenciones de suplementos parabióticos, fomento de las pausas de descanso, pantalla no emisora de luz y vaporizador calentador de párpados. La herramienta utilizada para la evaluación de los síntomas varió entre los estudios (consultar el cuadro 6). Sólo un estudio se realizó en un único día [351], y en todos los demás la intervención se aplicó durante varios días (hasta 90 días). No se estimaron análisis agrupados en los que existía una heterogeneidad considerable ( $I^2 \geq 75\%$ ). SD: desviación estándar; SMD: diferencia de medias estandarizada; IC: intervalo de confianza; AG: ácidos grasos.

(diferencia media = -5.17, IC 95%: -9.02, -1.32) y la puntuación del cuestionario sobre el Síndrome Visual Informático (diferencia media = -8.15, IC 95%: -13.06, -3.24) tras una tarea de lectura de 2 h. En un estudio de diseño similar [608], se comparó el cambio en las puntuaciones del CVSS17 y del Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular tras una tarea de 2 h con teléfonos inteligentes utilizando pantallas emisoras de luz polarizadas circular o linealmente. El cambio tanto en la puntuación CVSS17 (diferencia media = -3.70; IC: 5.00, -2.40) como en el Índice de Enfermedad de la Superficie Ocular la puntuación del índice (diferencia media = -5.21; IC: -6.93, -3.49) fue inferior en el grupo de visualización con polarización circular después de la tarea de 2 h.

Los resultados de estos estudios no se combinaron debido a las diferencias en la intervención específica; sin embargo, ambos indican que los tipos de pantalla no convencionales reducen los síntomas de fatiga visual digital y ojo seco, en comparación con los tipos de pantalla convencionales para teléfonos inteligentes. En ambos estudios, las tareas se completaron utilizando la pantalla experimental o la de control con iluminación ambiental clara y oscura, por separado, pero estos subgrupos se combinaron para este análisis.

**8.11.2.3.11. Terapia ayurvédica.** El ayurveda es una medicina tradicional originaria de la India. Cinco estudios [590,591,593,595,601] investigaron el impacto de las terapias ayurvédicas en la tensión ocular digital. Las terapias investigadas consistían en gotas oculares o cápsulas orales que contenían extractos herbales o la aplicación de Ghee caliente (mantequilla clarificada) sobre los ojos cerrados, mientras el paciente parpadeaba periódicamente. Los datos de todos los estudios no pudieron incluirse en el meta-análisis, bien por falta de información sobre el método de evaluación del resultado, bien porque el resultado cuantificado era categórico. Todos los estudios que utilizaron terapia ayurvédica se consideraron de alto riesgo de sesgo debido a la falta de información o a la ausencia de enmascaramiento de los participantes.

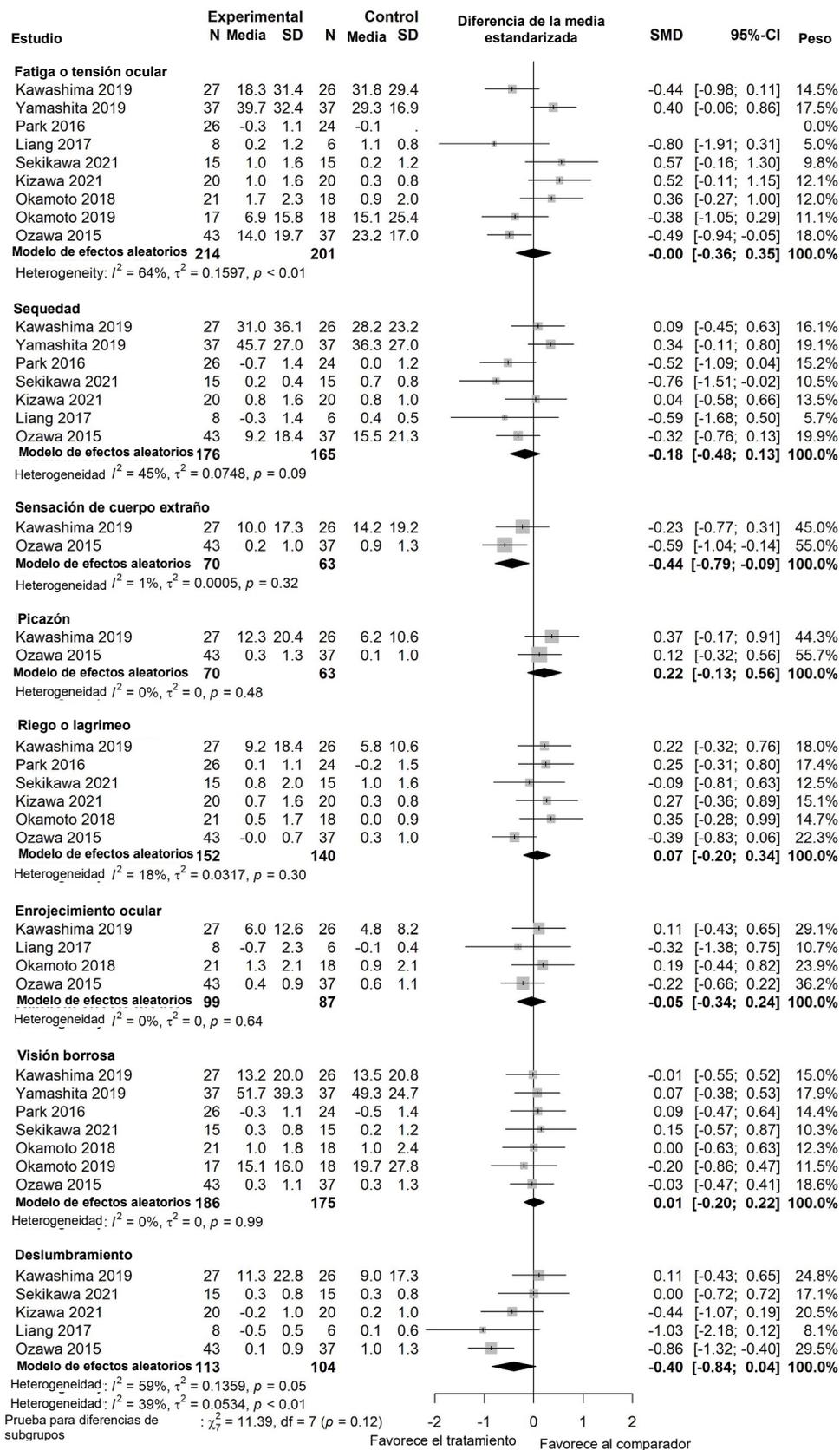
Tres estudios [590,591,601] informaron del efecto del uso de colirios a base de hierbas en los resultados secundarios. Tras 6 semanas de uso del gotas oftálmicas, se notificaron mejoras significativas en las puntuaciones de los síntomas de sensación cuerpo extraño (diferencia media = -0.69, IC 95%: -0.93, -0.45 [601]; diferencia media = -0.69, IC 95%: -1.00, -0.38 [591]) y enrojecimiento ocular (diferencia media = -0.56, IC 95%: -0.78, -0.34 [601];

media

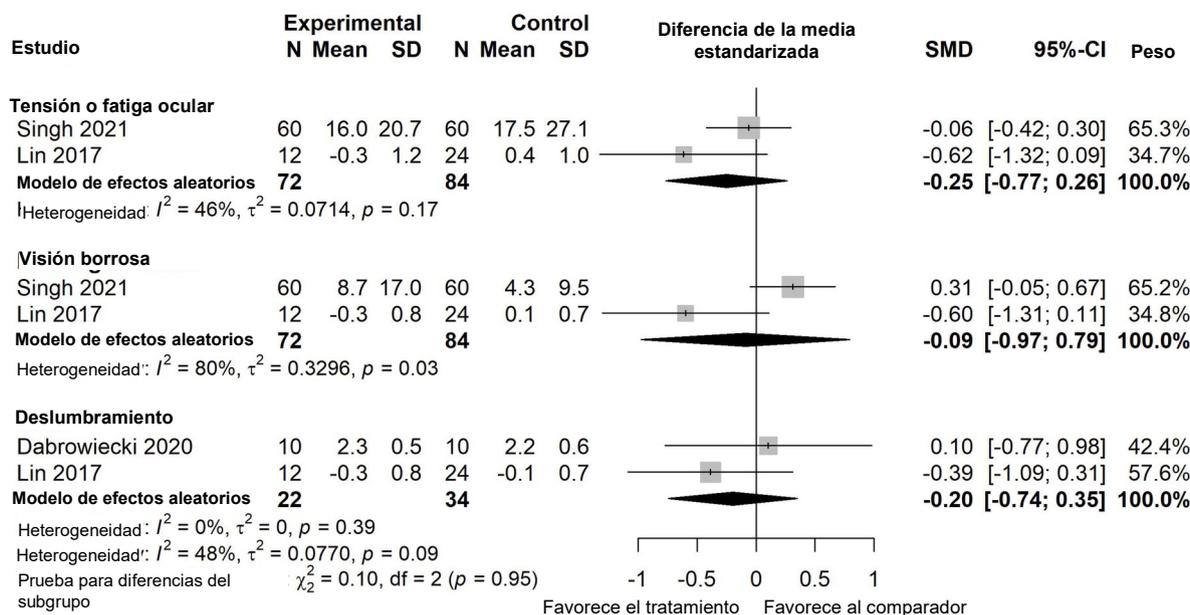
diferencia = 1.02, IC 95%: -1.37, -0.67 [591]), en relación con los grupos placebo. En el segundo estudio se observaron nuevas mejoras en los síntomas de lagrimeo tras 6 semanas de uso del gotas oftálmicas (diferencia media = -0.42, 95% CI: -0.68, -0.16) [601]. Un tercer estudio informó de una diferencia significativa de cantidad en el número de participantes que informaron de una mejora (variable dicotómica sí/no) en los síntomas de visión borrosa (cociente de probabilidades = 4.3), deslumbramiento (cociente de probabilidades = 6.3) y fatiga visual (cociente de probabilidades = 6.7) tras 30 días de uso de gotas oftálmicas, en relación con el grupo placebo [590]; no se estimaron los IC para este estudio debido a la incertidumbre en torno al tamaño de la muestra. En un segundo brazo de intervención que combinaba el uso de colirios de hierbas y un suplemento herbáceo oral durante 30 días, el mismo estudio [590] informó de mejoras en el desenfoco (cociente de probabilidades = 12.0), el deslumbramiento (cociente de probabilidades = 7.4), la tensión ocular (cociente de probabilidades = 8.3), sensación de quemazón (cociente de probabilidades = 3.1), sequedad (cociente de probabilidades = 2.9) y lagrimeo (cociente de probabilidades = 5.9).

Dos estudios que utilizaron la terapia tópica con Ghee también informaron en general de mejoras en los síntomas [593,595]. Utilizando una escala de puntuación de 4 puntos, un estudio encontró mejoras en la sequedad (diferencia media = -1, IC 95%: -1.26, -0.74), enrojecimiento (diferencia media = -0.67, IC 95%: -0.97, -0.37) y sensación de quemazón (diferencia media = -0.77, IC 95%: -1.14, -0.39) con terapia tópica de Ghee, en comparación con ningún tratamiento [595]. Otro estudio en el que se utilizó la terapia tópica con Ghee [593], no encontró mejoras significativas en la visión borrosa, el enrojecimiento, la sensación de quemazón o la sequedad entre los participantes que recibieron Ghee tópico o Ghee tópico en combinación con un suplemento herbal oral, en comparación con el grupo de control; probablemente porque el tamaño de las muestras era pequeño ( $n < 10$  en cada grupo). La tensión ocular fue significativamente mejor en los participantes que recibieron Ghee tópico y un suplemento herbal oral (diferencia media = -0.78, IC 95%: -1.15, -0.11), en comparación con el grupo de control (que recibió asesoramiento sobre cambios en el estilo de vida), pero no fue significativamente diferente en el grupo que sólo recibió Ghee tópico (diferencia media = -0.63; IC 95%: -1.26; 0.01).

#### 8.10.2.4. Análisis de subgrupos. Meta-análisis de subgrupos preespecificados



**Fig. 9.** Diagrama de caja y bigote de las medidas de resultado secundarias en los estudios que utilizaron un suplemento antioxidante como intervención. Se incluyeron los datos de 9 estudios con datos de resultados secundarios elegibles. Sólo un estudio investigó el resultado de la sensación de quemazón y no se incluyó en el meta-análisis [577]. No se realizaron análisis agrupados cuando existía una heterogeneidad considerable ( $I^2 \geq 75\%$ ).



**Fig. 10.** Diagrama caja y bigote de los estudios que investigan el efecto de las lentes de protección con bloqueo de luz azul sobre los síntomas de la fatiga visual digital. Un estudio se realizó a lo largo de 5 días [549], mientras que todos los demás estudios fueron  $\leq 2$  h. Uno aportó además datos sobre los síntomas de sequedad, sensación de quemazón y lagrimeo o lagrimeo [351], y otro aportó datos sobre el picazón [444]. No se realizaron análisis agrupados cuando existía una heterogeneidad considerable ( $I^2 \geq 75\%$ ).

no se realizaron sobre niños y adolescentes frente a adultos, y placebo frente a ningún comparador de tratamiento, ya que había muy pocos estudios ( $\leq 1$  en cada tipo de intervención) con datos elegibles que estudiaran a una población de niños y adolescentes o utilizando ningún tratamiento como comparador.

8.10.3. *Discusión de la revisión sistemática*

Esta revisión sistemática y meta-análisis trató de determinar qué intervenciones contra las enfermedades de la superficie ocular pueden reducir los síntomas de la fatiga visual digital. En general, hubo poca certeza de que la administración oral de suplementos de ácidos grasos omega-3 se asociara con puntuaciones más favorables de los síntomas de tensión ocular digital o sequedad (resultado primario), en comparación con los grupos de control, y se estimó que los tamaños del efecto de estas intervenciones eran de alrededor de 1.3 a 1.8 desviaciones estándar de mejora en la puntuación de los síntomas, lo que se aproxima a una puntuación CVS-Q de 10 a 13 unidades menos (menos síntomas), y se consideraría un efecto clínicamente significativo. El uso de lentes bloqueadoras de la luz azul no se asoció con mejoras en los síntomas de la fatiga visual digital en el análisis agrupado. Los resultados de los estudios sobre el software de recordatorio de parpadeo variaron de ningún efecto a favorecer la intervención de recordatorio de parpadeo (aproximadamente una mejora de 10 unidades en la puntuación CVS-Q), con una certeza global de las pruebas muy baja. También se notificaron puntuaciones de tensión ocular digital o síntomas de ojo seco en estudios que utilizaron un suplemento parabiótico, humidificadores, un dispositivo de calentamiento de los párpados, tipos de pantalla no convencionales y una aplicación para promover las pausas de descanso, pero no cumplieron los criterios para la extracción de datos o la inclusión en los meta-análisis debido a la falta de estudios que utilizaran la misma intervención o a que los datos de los resultados no cumplían los criterios para la extracción. Cabe destacar que los dos tipos de pantalla no convencionales (E-paper y pantallas emisoras de luz polarizada circular) demostraron resultados favorables, en comparación con las pantallas convencionales, por lo que el cambio de tipo de pantalla puede resultar prometedor para disminuir los síntomas de la fatiga visual digital.

Quizá sea más fácil extraer conclusiones sobre las intervenciones que no parecen ser eficaces para tratar la tensión ocular digital. Tres de los cuatro estudios que utilizaron un suplemento antioxidante no identificaron un efecto significativo del tratamiento sobre la tensión ocular digital o los síntomas del ojo seco, mientras que el estudio restante descubrió que los síntomas en el grupo de intervención eran aproximadamente 1.3 desviaciones estándar más bajos (aproximadamente 9,7 unidades CVS-Q) que en el grupo de control. Este último estudio utilizó una dosis de antioxidantes mucho más alta, de una media de 2.800 mg/día (de 2 a 20 veces superior a la de otros estudios) y esto puede haber contribuido a la elevada heterogeneidad del

resultado primario y la certeza general de las pruebas se evaluó como baja. El análisis agrupado de los resultados de diez estudios que utilizaron un suplemento antioxidante como intervención e informaron de datos de resultados secundarios no reveló ningún efecto significativo del tratamiento para ninguno de los resultados secundarios, con la excepción de la sensación de cuerpo extraño, para la que sólo se disponía de datos de dos estudios. Dado que la mayoría de los estudios sobre antioxidantes no encuentran ningún efecto significativo del tratamiento sobre los síntomas de la tensión ocular digital, ni siquiera en los análisis agrupados, parece probable que esta intervención tenga un impacto mínimo sobre los síntomas de la tensión ocular digital. El estrés oxidativo se ha relacionado con la enfermedad del ojo seco [609] principalmente a través de trabajos con modelos animales, pero es posible que el estrés oxidativo no desempeñe el mismo papel en la causa de los síntomas de la tensión ocular digital. Sólo uno [444] de los cuatro estudios que investigaron las lentes bloqueadoras de la luz azul o los filtros de pantalla informó de resultados favorables a la intervención experimental y, entonces, sólo en relación con el dolor ocular, la pesadez o el picazón. Todos los análisis agrupados fueron coherentes con la ausencia de efectos significativos de las lentes de bloqueo de luz azul, al igual que todos los resultados no agrupados de los tres estudios restantes [351,549,555]; por lo tanto, en conjunto parece que las lentes de bloqueo de luz azul o los filtros de pantalla contribuyen poco a atenuar los síntomas de la fatiga visual digital.

8.10.4. *Puntos fuertes y limitaciones*

Los puntos fuertes de esta revisión incluyen una búsqueda bibliográfica exhaustiva en dos grandes bases de datos de medicina y ciencias de la salud, la evaluación de la calidad mediante la herramienta validada riesgo de sesgo 2, la selección de poblaciones con fatiga visual digital o que presentaban síntomas que empeoraban durante el uso de dispositivos digitales, el uso de criterios estrictos para la inclusión en el meta-análisis y el uso de diferencias de medias estandarizadas que permiten combinar las estimaciones del efecto del tratamiento de estudios que utilizan diferentes herramientas de medición. Las limitaciones de esta revisión incluyen una variación significativa en los métodos de estudio evaluados, incluida la administración de la intervención y la medición e informe de los síntomas de la fatiga visual digital. Aunque esto era de esperar, limita no obstante la capacidad de extraer conclusiones claras sobre la eficacia de la mayoría de las intervenciones y limitó la capacidad de realizar análisis agrupados. Debido a la heterogeneidad correspondiente, se fusionaron los resultados de los síntomas de tensión ocular digital y de ojo seco, lo que puede hacer que los hallazgos sean menos aplicables a la tensión ocular digital en sí y más aplicables a los síntomas de ojo seco durante el uso de dispositivos digitales. Sin embargo, dado que se seleccionaron los estudios que reclutaron pacientes con tensión ocular digital o que evaluaron los síntomas durante el uso del dispositivo, y que la tensión ocular digital y el ojo seco

están correlacionados [29], es probable que los hallazgos sigan siendo relevantes para la fatiga visual digital.

**9. Resumen y recomendaciones**

Este informe ha aclarado la terminología relativa a los efectos oculares del entorno digital (definido como cualquier tecnología que requiera la visualización de una pantalla digital para realizar una tarea cognitiva), siendo la "fatiga visual digital" la descripción preferida. La 'fatiga visual digital' se definió como "el desarrollo o la exacerbación de síntomas y/o signos oculares recurrentes relacionados específicamente con la visualización de pantallas de dispositivos digitales" (Sección 1). Las tecnologías digitales siguen evolucionando a un ritmo rápido y algunas de las primeras preocupaciones en torno a las frecuencias de actualización, la resolución y la emisión de luz azul se han superado en gran medida o se ha demostrado que tienen un impacto limitado en el sistema visual (Secciones 2 y 3). Aunque se ha notificado una prevalencia de la fatiga visual digital de hasta el 97% en poblaciones específicas (Sección 4), antes de que se llegue a una definición consensuada y a falta de criterios de diagnóstico reconocidos, esto incluirá a individuos cuya fatiga visual no esté relacionada únicamente con la tecnología digital y, por lo tanto, no debería denominarse fatiga visual digital. Sin embargo, la fatiga visual al realizar tareas que dependen de un entorno digital puede causar molestias y afectar a la productividad y la calidad de vida (Sección 7), por lo que es necesario establecer estrategias de gestión y tratamientos claros y basados en pruebas (Sección 8).

Incluso los cuestionarios más utilizados para la fatiga visual digital no

establecer que se cumple la definición antes mencionada, y los signos objetivos no son "diagnósticos" de la tensión ocular digital ni están validados como sensibles a la gravedad de la afección o a su tratamiento (Sección 5). Por lo tanto, existe una necesidad insatisfecha de desarrollar un cuestionario de diagnóstico sensible y rápido de administrar para establecer si un individuo cumple la definición de padecer tensión ocular digital, de modo que pueda ser tratado adecuadamente. El diagnóstico diferenciado de la enfermedad de ojo seco establecida, el error refractivo o las anomalías de la visión binocular debe incluirse, ya que se han establecido estrategias de manejo basadas en pruebas para estas enfermedades/afecciones y, por tanto, pueden establecerse enfoques específicos para los entornos digitales (Fig. 11).

El mecanismo de acción parece ser una exacerbación de la enfermedad de la superficie ocular (principalmente debido a la reducción de la frecuencia y la completitud del parpadeo), un defecto de refracción no corregido completamente y/o anomalías subyacentes de la visión binocular, junto con la demanda cognitiva de la tarea y las diferencias de posición, tamaño, brillo y deslumbramiento en comparación con una tarea equivalente no digital (Sección 6). Sin embargo, aún deben realizarse estudios longitudinales para evaluar si los efectos son acumulativos, si existe un periodo crítico y si la alteración de los ritmos circadianos para la salida espectral de la luz, desempeña algún papel. Como métrica, el tiempo de pantalla por sí solo no capta la demanda cognitiva de las tareas, que parece ser un aspecto importante del entorno digital, por lo que ambos aspectos deberían cuantificarse como parte del historial y los síntomas del paciente. La dependencia de los dispositivos digitales es cada vez mayor, por lo que promover la reducción del

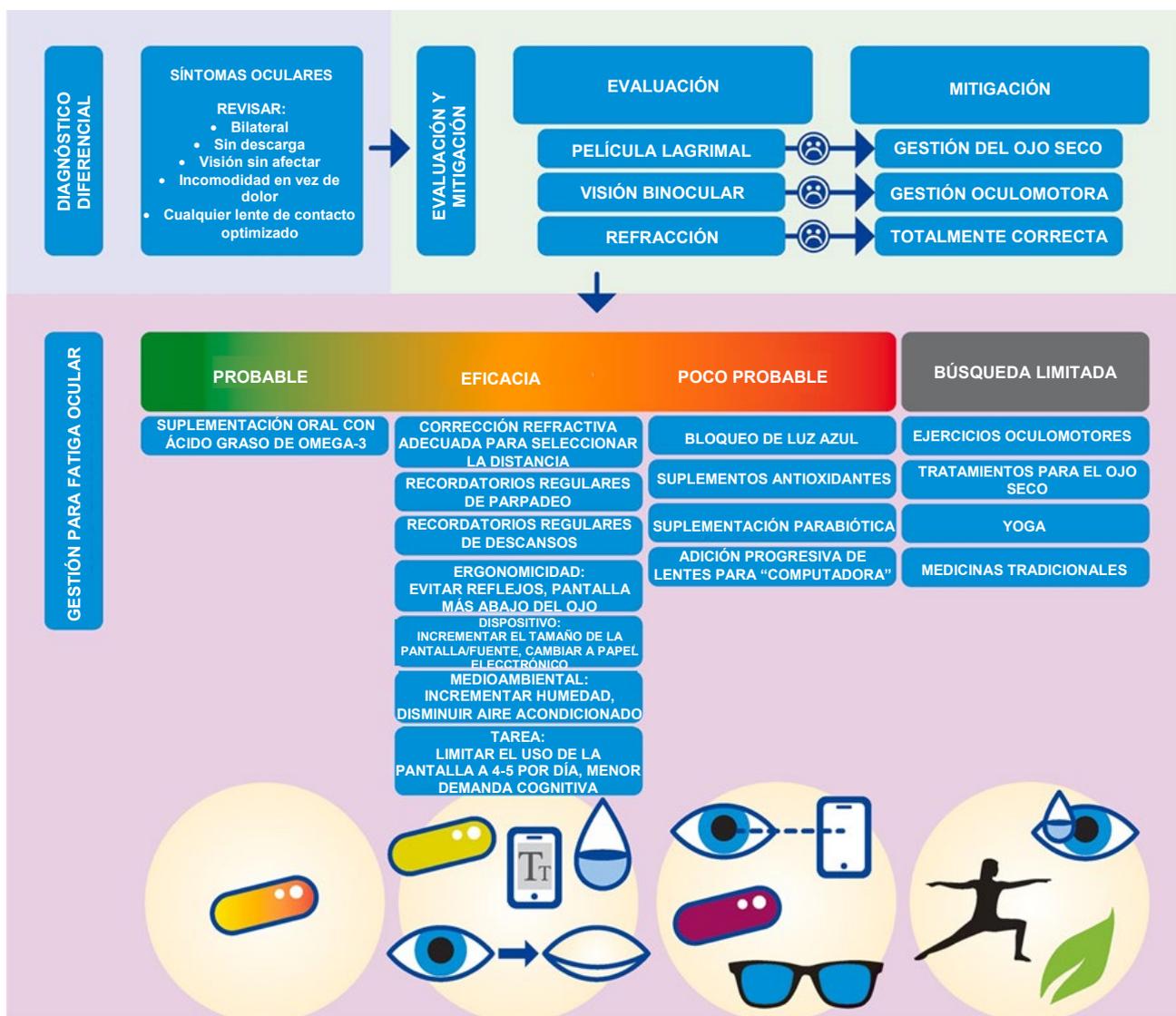


Fig. 11. Esquema de la gestión basada en la evidencia de la fatiga visual digital.

Parece poco probable que se adopte el uso, pero existen implicaciones en otras áreas de interés para el desarrollo ocular, como la progresión de la miopía, que deben considerarse de forma holística. Puede que haya que adoptar un enfoque diferente en las poblaciones pediátricas, que pueden tener un nivel de riesgo diferente dada su adopción temprana y prolongada de la tecnología digital.

En general, las intervenciones no están bien establecidas y se necesitan estudios controlados aleatorizados adicionales de mayor duración y los subsiguientes meta-análisis para seleccionar la estrategia más adecuada para un individuo. Los pacientes que sufren fatiga visual digital deben tener una corrección refractiva completa para las distancias de trabajo adecuadas. La mejora del parpadeo, la optimización del entorno y el fomento de los descansos regulares pueden ayudar, pero aún no se ha establecido su eficacia, por lo que es necesario seguir investigando (Fig. 11). Se necesitan estudios clínicos más amplios y de alta calidad para evaluar de forma sólida la eficacia de las lágrimas artificiales para aliviar la fatiga visual digital, en particular comparando diferentes componentes; el uso de secretagogos y compresas calientes/lentes humectantes/ humidificadores ambientales parece prometedor, al igual que la suplementación nutricional (por ejemplo, suplementos de ácidos grasos omega-3 y extractos de bayas). Basándose en las mejores pruebas actuales, las intervenciones de bloqueo de la luz azul no parecen ser una estrategia de gestión eficaz. Una vez que se comprendan mejor los mecanismos de la fatiga visual digital y se establezcan mejor las opciones de gestión basadas en pruebas, será necesario educar a los profesionales de la visión y al público en general para garantizar que se optimizan la productividad y la calidad de vida de la población. Teniendo en cuenta el uso ubicuo de la tecnología digital, la detección de la tensión ocular digital debería incorporarse a las evaluaciones oculares rutinarias.

Aunque la tecnología digital se considera generalmente perjudicial a la salud ocular, también existe la oportunidad de utilizar la tecnología para mejorar la salud ocular del paciente, con soluciones avanzadas de monitorización, asesoramiento y tratamiento del usuario. Se ha demostrado el potencial de las cámaras inteligentes para determinar la estabilidad de la película lagrimal [610]. Las aplicaciones y las notificaciones móviles, por ejemplo, pueden informar al paciente de cuándo debe cambiar sus lentes de contacto o aplicarse el gotas oftálmicas, contribuyendo así a un comportamiento de cumplimiento por parte del paciente [611]. Alternativamente, las cámaras orientadas hacia el paciente en un sistema de realidad virtual [612] o en un dispositivo móvil pueden utilizarse para controlar las características del parpadeo [613,614] o para aumentar el cumplimiento de una distancia mínima de visión del dispositivo, por ejemplo atenuando la pantalla cuando se está demasiado cerca [215,615]. Los sistemas de cámara y pantalla de alta calidad integrados en los dispositivos móviles también permiten la captura de imágenes a distancia y la gestión de los pacientes, lo que ha resultado especialmente útil durante la pandemia de COVID-19. En el futuro, tal vez sea posible aprovechar las ventajas de sistemas de visualización digital específicos, como la realidad virtual o la realidad aumentada, para proporcionar un entorno antimicrobiano [616], o proporcionar microambientes cálidos y húmedos para minimizar los síntomas de sequedad [250,617]. Estos sistemas de dispositivos digitales suelen estar conectados a la red y permiten que dicha información se comunique directamente al paciente o, posteriormente, a su profesional médico o de la visión, lo que permite supervisar cuidadosamente la salud ocular y apoyar el comportamiento de cumplimiento por parte del paciente.

#### Declaración de intereses concurrentes

James S. Wolffsohn 3m (F), AOS (C), Aston Vision Sciences (S), Atia Vision (C), Bausch & Lomb (C), Alcon (C,F), Allergan (F), CooperVision (C,F), CSIDryEye (C), DopaVision (C), Eyoto (S), Johnson & Johnson Vision (F), Rayner (F), M2C Pharmaceuticals (C,F), Medmont (C), Novartis (C,F), NuVision (C,F), Santen (C), Scope Ophthalmics (C,F), SightGlass (F,C), TFOS (S), Th'ea Laboratories (C,F), Topcon (F), The Eye Doctor (F), Veluon (F), Wolffsohn Research Limited (S), WO2019/001928 A1 (P), WO2019193051A1 (P).

Gareth Lingham: Ninguno (N).

Laura E. Downie Alcon (F), Azura Ophthalmics (F), BCLA (R), CooperVision (F), Cornea and Contact Lens Society of Australia (R), Medmont International (R), NHMRC Australia (F), Novartis (F), TFOS (S), método de diagnóstico del ojo seco (P).

Byki Huntjens: Alcon (C), Bausch and Lomb (C), CooperVision (C), Johnson & Johnson Vision Care Institute (C).

Takenori Inomata: Novartis (F), Santen (F,C), Lion Corporation (F), SEED Company (F), Johnson & Johnson (F), Hogy Medical Co (F), Shin Nippon Biomedical Laboratories (F), Renatech (P), Kowa (P), InnoJin (E).

Saleel Jivraj: IMED Pharma (F, C), The Body Doctor (F), DryiRelief App (I), My Myopia Management App (I), Optometrist Calgary (P), Alcon (C).

Emmanuel Kobias-Acquah: Ninguno (N)

Alex Muntz: Azura Ophthalmics (F), .

Karim Mohamed-Noriega: Ninguno (N)

Sotiris Plainis: Ninguno (N).

Michael Lee: Johnson & Johnson Vision (F), Coopervision (C), Menicon (F), Visco Vision inc (F), US10959973B2 (P).

Rony R. Sayegh: Novartis (C), Allergan (C), US20220175516A1 (P).

Sumeer Singh: Ninguno (N).

Tor P. Utheim: ABIGO (F), Alcon (F,C), Allergan (F), AMWO (F), Bausch&Lomb (F), Bayer (F,C), European school for advanced studies in ophthalmology (F,C), InnZ Medical (F), Medilens Nordic (F), Medistim (F), Novartis (F,C), Santen (F,C), Specsavers (F,C), Shire Pharmaceuticals (F,C), Thea Laboratoires (F,C).

Jennifer P. Craig: Adelphi Values Ltd (R), Alcon (F,R,C), Asta Supreme (R), Azura Ophthalmics (F,R), E-Swin (F,R), Johnson & Johnson Vision (R), Manuka Health (F), Medmont International (R), Novoxel (R), Oculeve (F), Photon Therapeutics (R), Resono Ophthalmic (F,R), TFOS (S), Th'ea Laboratories (F,R), Topcon (F,R), TRG Natural Pharmaceuticals (F,R).

#### Agradecimientos

Se agradece a Sal Jivraj la creación de las infografías (Figs. 4 y 11). El Taller sobre el estilo de vida de la TFOS se llevó a cabo bajo la dirección de Jennifer P Craig, PhD FCOptom (Presidenta), Monica Alves, MD PhD (Vicepresidenta) y David A Sullivan PhD (Organizador). Los participantes en el taller agradecen a Amy Gallant Sullivan (Directora Ejecutiva de la TFOS, Francia) la recaudación de los fondos que hicieron posible esta iniciativa. El Taller de Estilo de Vida de la TFOS contó con el apoyo de donaciones sin restricciones de

Alcon, Allergan an AbbVie Company, Bausch+Lomb, Bruder Healthcare, CooperVision, CSL Seqirus, Domp'e, ESW-Vision, ESSIRI Labs, Eye Drop Shop, I-MED Pharma, KALA Pharmaceuticals, Laboratoires Th'ea, Santen, Novartis, Shenyang Sinqi Pharmaceutical, Sun Pharmaceutical Industries, Tarsus Pharmaceuticals, Trukera Medical y URSAPHARM.

#### Apéndice A. Datos complementarios

Los datos complementarios de este artículo pueden consultarse en línea en <https://doi.org/10.1016/j.jtos.2023.04.004>.

#### Referencias

- [1] Downie LE, Britten-Jones AC, Hogg RE, Jalbert I, Li T, Lingham G, et al. TFOS lifestyle - Evidence quality report: Advancing the evaluation and synthesis of research evidence. *Ocul Surf* 2023. In press.
- [2] Online Etymology dictionary [electronic resource].
- [3] Wu J, Seregard S, Algvere PV. Photochemical damage of the retina. *Surv Ophthalmol* 2006;51:461-81.
- [4] Zhao Z-C, Zhou Y, Tan G, Li J. Research progress about the effect and prevention of blue light on eyes. *Int J Ophthalmol* 2018;11:1999.
- [5] West KE, Jablonski MR, Warfield B, Cecil KS, James M, Ayers MA, et al. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *J Appl Physiol* 2011;110:619-26.
- [6] Sweetser P, Johnson D, Ozdowska A, Wyeth P. Active versus passive screen time for young children. *Australas J Early Child* 2012;37:94-8.
- [7] World Health Organisation (WHO). Electromagnetic fields and public health: mobile phones. World Health Organisation; 2014. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>.

- [8] Statista. Average number of devices residents have access to in households worldwide in 2020, by country. <https://www.statista.com/statistics/1107307/average-number-connected-devices-households-worldwide/2020>.
- [9] Statista. Average time spent per day with digital media in the United States from 2011 to 2022 [Electronic Resource]. <https://www.statista.com/statistics/262340/daily-time-spent-with-digital-media-according-to-us-consumers/#:~:text=In%2020%2C%20adults%20spent%20an,5%20and%20a%20half%20hours.2022>.
- [10] Palaiologou I. Children under five and digital technologies: implications for early years pedagogy. *Eur Early Child Educ Res J* 2016;24:5-24.
- [11] Zebaba D, Sahledengle B, Bonsa M, Tekalegn Y, Azanaw J, Kumar Chattu V. Prevalence of computer vision syndrome and associated factors among instructors in Ethiopian universities: a web-based cross-sectional study. *Sci World J* 2021; 2021:3384332.
- [12] Regmi A, Suresh J, Asokan R. Changes in work patterns during COVID-19 lockdown and its impact on the eyes and body. *Clin Exp Optom* 2022;1-7.
- [13] Meyer J, McDowell C, Lansing J, Brower C, Smith L, Tully M, et al. Changes in physical activity and sedentary behavior in response to COVID-19 and their associations with mental health in 3052 US adults. *Int J Environ Res Publ Health* 2020;17.
- [14] Dain SJ, McCarthy AK, Chan-Ling T. Symptoms in VDU operators. *Am J Optom Physiol Opt* 1988;65:162-7.
- [15] Mehra D, Galor A. Digital screen use and dry eye: a review. *Asia-Pac J Ophthalmol (Philadelphia, Pa)* 2020;9:491-7.
- [16] Sheppard AL, Wolffsohn JS. Digital eye strain: prevalence, measurement and amelioration. *BMJ Open Ophthalmol* 2018;3:e00146.
- [17] Coles-Brennan C, Sulley A, Young G. Management of digital eye strain. *Clin Exp Optom* 2019;102:18-29.
- [18] Gowrisankaran S, Sheedy JE. Computer vision syndrome: a review. *Work* 2015; 52:303-14.
- [19] Kamey B, Magno M, Noland ST, Moe MC, Petrovski G, Vehof J, et al. Video display terminal use and dry eye: preventive measures and future perspectives. *Acta Ophthalmol* 2022;100:723-39.
- [20] American Academy of Optometry. <https://www.aaopt.org/healthy-eyes/eye-and-vision-conditions/computer-vision-syndrome?ss=y>. March 2022.
- [21] Blehm C, Vishnu S, Khattak A, Mitra S, Yee RW. Computer vision syndrome: a review. *Surv Ophthalmol* 2005;50:253-62.
- [22] Munshi S, Varghese A, Dhar-Munshi S. Computer vision syndrome-A common cause of unexplained visual symptoms in the modern era. *Int J Clin Pract* 2017; 71.
- [23] Meyer D, Rickert M, Kolbaum P. Ocular symptoms associated with digital device use in contact lens and non-contact lens groups. *Contact Lens Anterior Eye* 2021; 44:42-50.
- [24] Thorud HM, Helland M, Aaras A, Kvikstad TM, Lindberg LG, Horgen G. Eye-related pain induced by visually demanding computer work. *Optometry and vision science*, vol. 89. official publication of the American Academy of Optometry; 2012. p. E452-64.
- [25] Chu CA, Rosenfield M, Portello JK. Blink patterns: reading from a computer screen versus hard copy. *Optom Vis Sci: Off Publ Am Acad Optomet* 2014;91: 297-302.
- [26] Evans BJW. Detecting binocular vision anomalies in primary eyecare practice. In: Evans BJW, editor. *Binocular vision anomalies*. sixth ed. Pickwell; 2021. p. 11-44.
- [27] Myloni I, Deres ES, Dere GS, Tsinopoulos I, Glynatsis M. The impact of internet and videogaming addiction on adolescent vision: a review of the literature. *Front Public Health* 2020;8. Article 63.
- [28] Shantakumari N, Eldeeb R, Sreedharan J, Gopal K. Computer use and vision-related problems among university students in ajman, United arab emirate. *Ann Med Health Sci Res* 2014;4:258-63.
- [29] Portello JK, Rosenfield M, Bababekova Y, Estrada JM, Leon A. Computer-related visual symptoms in office workers. *Ophthalmic Physiol Opt* 2012;32:375-82.
- [30] American Optometric Association. Computer vision syndrome. <https://www.aaopt.org/patients-and-public/caring-for-your-vision/protecting-your-vision/computer-vision-syndrome?ss=y> 2017.
- [31] Sheedy JE, Hayes JN, Engle J. Is all asthenopia the same? *Optometry and vision science*, vol. 80. official publication of the American Academy of Optometry; 2003. p. 732-9.
- [32] Craig JP, Nichols KK, Alpeck EK, Caffery B, Dua HS, Joo CK, et al. TFOS DEWS II definition and classification report. *Ocul Surf* 2017;15:276-83.
- [33] Dumbleton K, Caffery B, Dogru M, Hickson-Curran S, Kern J, Kojima T, et al. The TFOS international Workshop on contact lens discomfort: report of the subcommittee on epidemiology. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2013;54: TFOS20-36.
- [34] Fjaervoll K, Fjaervoll H, Magno M, Noland ST, Dartt DA, Vehof J, et al. Review on the possible pathophysiological mechanisms underlying visual display terminal-associated dry eye disease. *Acta Ophthalmol* 2022;100:861-77.
- [35] Gabor D, Stuart P, Kalman P. A new cathode-ray tube for monochrome and colour television. *Proc IEE-Part B: Radio Electron Eng* 1958;105:581-604.
- [36] Herold EW. A history of color television displays. *Proc IEEE* 1976;64:1331-8.
- [37] Bowden S, Offer A. Household appliances and the use of time: the United States and Britain since the 1920s. *Econ Hist Rev* 1994;7:25-48.
- [38] Pool I, Inose H, Takasaki N, Hurwitz R. Communication flows - a census in the United States and Japan. *Informat Res Resou Rep* 1984;3:1-196.
- [39] Caplow T, Bahr HM, Modell J, Chadwick BA. Recent social trends in the United States. 1960-1980. *Modell's Census's Resou Rep* 1984; 1984.
- [40] Crespo CJ, Smit E, Troiano RP, Bartlett SJ, Macera CA, Andersen RE. Television watching, energy intake, and obesity in US children: results from the third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2001;155:360-5.
- [41] Sullivan M. Video display terminal health concerns. *Workplace Health & Saf* 1989;37:254-7.
- [42] World Health Organization. Visual display terminals and workers' health. *World Health Organization*; 1987. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/38218>.
- [43] Weiss M. The video display terminals—is there a radiation hazard? *J Occup Med* 1983;98-100.
- [44] Zuk W, Stuchly M, Dvorak P, Deslauriers Y. Investigation of radiation emissions from video display terminals. Department of National Health and Welfare; 1983. [https://inis.laeta.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/16/030/16030661.pdf](https://inis.laeta.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/16/030/16030661.pdf).
- [45] Bergqvist UO. Video display terminals and health: a technical and medical appraisal of the state of the art. *Scand J Work Environ Health* 1984;1:87.
- [46] Murray WE. Potential health hazards of video display terminals. Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Biomedical and Behavioral Science, Division of Surveillance, Hazard Evaluations, and Field Studies; 1981. <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=tAEgysjaJ8C&oi=fnd&pg=PR2&dq=Potential+health+hazards+of+video+display+terminals&ots=aCjFbCsJ8&sig=ejkHumwLwzTQJk6cngMxPW07538>. U.S. Department of Health and Human Services.
- [47] Gunnarsson E, Söderberg I. Eye strain resulting from VDT work at the Swedish telecommunications administration. *Appl Ergon* 1983;14:61-9.
- [48] Badano A, Flynn MJ. Experimental measurements of glare in cathode-ray tubes. *Medical Imaging 1998: Image Display*. International Society for Optics and Photonics; 1998. p. 188-96.
- [49] Roehrig H, Fan J, Chawla A, Gandhi K. The liquid crystal display (LCD) for medical imaging in comparison with the cathode ray tube display (CRT). *Penetrating Radiation Systems and Applications IV*. SPIE; 2002. p. 114-31.
- [50] Haak R, Wicht M, Hellmich M, Nowak G, Noack M. Influence of room lighting on grey-scale perception with a CRT and a TFT monitor display. *Dentomaxillofacial Radiol* 2002;31:193-7.
- [51] Wisnieff RL, Ritsko JJ. Electronic displays for information technology. *IBM J Res Dev* 2000;44:409-22.
- [52] Welde WL, Cream BW. Variables influencing the perception of flicker in wide angle CRT displays. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED074755.pdf> 1972.
- [53] Bauer D, Bonacker M, Cavonius C. Frame repetition rate for flicker-free viewing of bright VDU screens. *Displays* 1983;4:31-3.
- [54] Menozzi M, Lang F, Naepflin U, Zeller C, Krueger H. CRT versus LCD: effects of refresh rate, display technology and background luminance in visual performance. *Displays* 2001;22:79-85.
- [55] Saito T. Perfect flat CRT discussed from a standpoint of viewing performance. *IEEE Trans Consum Electron* 1998;44:712-7.
- [56] Iguchi Y. A super-flat Trinitron color CRT. *SID'97 Digest* 1997:138-41.
- [57] Hladky A, Prochazka B. Using a screen filter positively influences the physical well-being of VDU operators. *Cent Eur J Publ Health* 1998;6:249-53.
- [58] Oyama T, Ohsaki H, Tachibana Y, Hayashi Y, Ono Y, Horie N. A new layer system of anti-reflective coating for cathode ray tubes. *Thin Solid Films* 1999;351: 235-40.
- [59] Ohkoshi A, Sato H, Nakano T, Natori T, Hatanaka M. A compact flat cathode ray tube. *IEEE Trans Consum Electron* 1982:431-6.
- [60] Nakamshi H, Okuda S, Yoshida T, Sugahara T. A high-resolution color CRT for CAD/CAM use. *IEEE Trans Electron Dev* 1986;33:1141-4.
- [61] Okano N, Maeda M, Saita K, Horiuchi Y. Development of ultra-high resolution 17"/21" CRT. In: *SID symposium digest of technical papers*. Wiley Online Library; 1999. p. 254-7.
- [62] Thomson WD. Eye problems and visual display terminals—the facts and the fallacies. *Ophthalmic Physiol Opt* 1998;18:111-9.
- [63] Saito S, Taptagaporn S, Salvendy G. Visual comfort in using different VDT screens. *Int J Hum Comput Interact* 1993;5:313-23.
- [64] Goodbye O'Donovan P. CRT. *IEEE Spectr* 2006;43:38-43.
- [65] Luo J, Singhal A, Braun G, Gray RT, Touchard N, Seignol O. Displaying images on mobile devices: capabilities, issues, and solutions. *Wireless Commun Mobile Comput* 2002;2:585-94.
- [66] Bahadur B. Liquid crystal displays. [https://books.google.co.uk/books?id=qkgyJyEJxGAC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.co.uk/books?id=qkgyJyEJxGAC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false) 1984.
- [67] Schadt M. Liquid crystal materials and liquid crystal displays. *Annu Rev Mater Sci* 1997;27:305-79.
- [68] Grego P. The power of the portable. *Astronomical Cybersketching*: Springer; 2009. p. 71-84.
- [69] Werner K. Flat panels fill the color bill for laptops. *IEEE Circ Dev Mag* 1994;10: 20-9.
- [70] Scheffer TJ, Clifton B, Prince D, Conner AR. Active addressing of STN displays for high-performance video applications. *Displays* 1993;14:74-85.
- [71] Credelle T. Thin-film transistors for video applications. In: *Conference record of the 1988 international display research conference*. IEEE; 1988. p. 208-14.
- [72] Chiu H-J, Cheng S-J. LED backlight driving system for large-scale LCD panels. *IEEE Trans Ind Electron* 2007;54:2751-60.
- [73] Narukawa Y. White-light LEDs. *Optics and photonics news*, vol. 15; 2004. p. 24-9.

- [74] Harbers G, Hoelen C. LP-2: high performance LCD backlighting using high intensity red, green and blue light emitting diodes. In: SID symposium digest of technical papers. Wiley Online Library; 2001. p. 702-5.
- [75] Smet PF, Parmentier AB, Poelman D. Selecting conversion phosphors for white light-emitting diodes. *J Electrochem Soc* 2011;158:R37.
- [76] Jang E, Jun S, Jang H, Lim J, Kim B, Kim Y. White-light-emitting diodes with quantum dot color converters for display backlights. *Adv Mater* 2010;22:3076-80.
- [77] Zhu R, Luo Z, Chen H, Dong Y, Wu S-T. Realizing Rec. 2020 color gamut with quantum dot displays. *Opt Express* 2015;23:23680-93.
- [78] Cajochen C, Frey S, Anders D, Späti J, Bues M, Pross A, et al. Evening exposure to a light-emitting diodes (LED) backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *J Appl Physiol* 2011;110:1432-8.
- [79] Kido J, Kimura M, Nagai K. Multilayer white light-emitting organic electroluminescent device. *Science* 1995;267:1332-4.
- [80] Geoffrey B, Le Roy P, Prat C. Organic light-emitting diode (OLED) technology: materials, devices and display technologies. *Polym Int* 2006;55:573-82.
- [81] Tsujimura T. OLED display fundamentals and applications. second ed. Wiley; 2017.
- [82] Choi J-H, Lee M, Kang K, Kim J-O. Adaptive color saturation control for low power RGBW OLED displays. *J Disp Technol* 2016;12:784-90.
- [83] Patel HN, Prujapati MM. OLED: a modern display technology. *Int J Scient Res Publ* 2014;4:1-5.
- [84] Yuan K, Zhu H, Mou Y, Wu Y, He J, Huang X, et al. Effects on the ocular surface from reading on different smartphone screens: a prospective randomized controlled study. *Clin Transl Sci* 2021;14:829-36.
- [85] Kim M. Assessment of the effect on the human body of the flicker of OLED displays of smartphones. *J Informat Display* 2021;22:269-74.
- [86] Davis J, Hsieh Y-H, Lee H-C. Humans perceive flicker artifacts at 500 Hz. *Sci Rep* 2015;5:7861.
- [87] Rovamo J, Raninen A. Critical flicker frequency and M-scaling of stimulus size and retinal illuminance. *Vis Res* 1984;24:1127-31.
- [88] Misiak H. The decrease of critical flicker frequency with age. *Science* 1951;113:551-2.
- [89] Park KC. Pixel circuits for OLED displays. *Advanced display technology*. Springer; 2021. p. 175-97.
- [90] Schreiner K. Dissecting the response to blue light. *Inf Disp* 2020;36:21-3.
- [91] Dain SJ. The blue light dose from white light emitting diodes (LEDs) and other white light sources. *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2020;40:692-9.
- [92] Kunst A. Which of the following electronic devices does your household own? *Statista Inc.*; 2022. <https://www.statista.com/forecasts/997201/consumer-electronics-ownership-in-the-us>.
- [93] Watson A. Estimated number of e-books sold in the United States from 2010 to 2020 (in million units) [Graph]. *Statista Inc.*; 2022. <https://www.statista.com/statistics/426799/e-book-unit-sales-us/>.
- [94] Heikenfeld J, Drzaic P, Yeo JS, Koch T. A critical review of the present and future prospects for electronic paper. *J Soc Inf Disp* 2011;19:129-56.
- [95] Yang D-K. Flexible bistable cholesteric reflective displays. *J Disp Technol* 2006;2:32.
- [96] Shieh K-K, Lee D-S. Preferred viewing distance and screen angle of electronic paper displays. *Appl Ergon* 2007;38:601-8.
- [97] Siegenthaler E, Bochud Y, Bergamin P, Wurtz P. Reading on LCD vs e-ink displays: effects on fatigue and visual strain. *Ophthalmic Physiol Opt* 2012;32:367-74.
- [98] Wu H-C. Electronic paper display preferred viewing distance and character size for different age groups. *Ergonomics* 2011;54:806-14.
- [99] James OD. Comparing binocular vision suppression on an e-reader versus a smartphone. *Santa Ana* 2012;23:5-6.
- [100] Koizuka T, Ishii Y, Kojima T, Lege RP, Miyao M. 59.2: the contributions of built-in light on the readability in E-paper devices. *Dig Tech Papers* 2014;45:861-4.
- [101] Rah MJ, Mitchell GL, Bullimore MA, Mutti DO, Zadnik K. Prospective quantification of near work using the experience sampling method. *Optom Vis Sci* 2001;78:496-502.
- [102] Ankrum DR. Viewing distance at computer workstations. *Workplace Ergon* 1996;2:10-3.
- [103] Hennings LK, Ye N. Interaction of screen distances, screen letter heights and source document distances. *Interact Comput* 1996;8:311-22.
- [104] Argilés M, Cardona G, Pérez-Cabrè E, Pérez-Magrané R, Morcego B, Gispets J. Real-time non-intrusive assessment of viewing distance during computer use. *Optom Vis Sci* 2016;93:1525-31.
- [105] Shin G, Hegde S. User-preferred position of computer displays: effects of display size. *Hum Factors* 2010;52:574-85.
- [106] Shieh K-K, Chen M-T. Effects of screen color combination, work-break schedule, and workspace on VDT viewing distance. *Int J Ind Ergon* 1997;20:11-8.
- [107] Siegenthaler E, Wurtz P, Bergamin P, Groner R. Comparing reading processes on e-ink displays and print. *Displays* 2011;32:268-73.
- [108] Cummings W. 63.1: invited Paper: The Impact of materials and system design choices on reflective display quality for mobile device applications. In: SID symposium digest of technical papers. Wiley Online Library; 2010. p. 935-8.
- [109] Benedetto S, Drai-Zerbib V, Pedrotti M, Tissier G, Baccino T. E-readers and visual fatigue. *PLoS One* 2013;8:e83676.
- [110] Talens-Estareles C, Sanchis-Jurado V, Esteve-Taboada JJ, Pons AM, García-Lázaro S. How do different digital displays affect the ocular surface? *Optom Vis Sci* 2020;97:1070-9.
- [111] Prabhasawat P, Pinitpuwadol W, Angsriprasert D, Chonpimai P, Saiman M. Tear film change and ocular symptoms after reading printed book and electronic book: a crossover study. *Jpn J Ophthalmol* 2019;63:137-44.
- [112] O'Hagan JB, Khazova M, Price LLA. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye* 2016;30:230-3.
- [113] Yang C, Fang W, Wang Z, Liu M, Li C, Zhang M, et al. Comparison on blue light hazard and circadian effect of different displays. *Laser & Optoelectr Progr* 2017;54:121701.
- [114] Moon J, Yun J, Yoon YD, Park S-I, Seo Y-J, Park W-S, et al. Blue light effect on retinal pigment epithelial cells by display devices. *Integr Biol* 2017;9:436-43.
- [115] Alvgren PV, Marshall J, Seregard S. Age-related maculopathy and the impact of blue light hazard. *Acta Ophthalmol Scand* 2006;84:4-15.
- [116] Lawrenson JG, Hull CC, Downie LE. The effect of blue-light blocking spectacle lenses on visual performance, macular health and the sleep-wake cycle: a systematic review of the literature. *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2017;37:644-54.
- [117] Brainard GC, Hanifin JP, Greeson JM, Byrne B, Glickman G, Gerner H, et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *J Neurosci* 2001;21:6405-12.
- [118] Thapan K, Arendt J, Skene DJ. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans. *J Physiol* 2001;535:261-7.
- [119] Wahl S, Engelhardt M, Schaupp P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock-Blue light sets the human rhythm. *J Biophot* 2019;12:e201900102.
- [120] Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Mol Vis* 2016;22:261.
- [121] Wright HR, Lack LC. Effect of light wavelength on suppression and phase delay of the melatonin rhythm. *Chronobiol Int* 2001;18:801-8.
- [122] Lockley SW, Brainard GC, Czeisler CA. High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *J Clin Endocrinol Metab* 2003;88:4502-5.
- [123] Shi Y, Tu Y, Wang L, Zhang Y, Zhang Y, Wang B. Spectral influence of the normal LCD, blue-shifted LCD, and OLED smartphone displays on visual fatigue: a comparative study. *Displays* 2021;69:102066.
- [124] Nagare R, Flitnick B, Figueiro MG. Does the iPad Night Shift mode reduce melatonin suppression? *Light Res Technol* 2019;51:373-83.
- [125] Souman JL, Borra T, de Goeijer I, Schlangen LJM, Vlaskamp BNS, Lucassen MP. Spectral tuning of white light allows for strong reduction in melatonin suppression without changing illumination level or color temperature. *J Biol Rhythm* 2018;33:420-31.
- [126] Nagai N, Ayaki M, Yanagawa T, Hattori A, Negishi K, Mori T, et al. Suppression of blue light at night ameliorates metabolic abnormalities by controlling circadian rhythms. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2019;60:3786-93.
- [127] Xu WH, Qu JY, Chen YL, Zhang MC. [Influence of blue light from visual display terminals on human ocular surface]. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2018;54:426-31.
- [128] Duraccio KM, Zaugg KK, Blackburn RC, Jensen CD. Does iPhone night shift mitigate negative effects of smartphone use on sleep outcomes in emerging adults? *Sleep Health* 2021;7:478-84.
- [129] Kawashima M, Uchino M, Yokoi N, Uchino Y, Dogru M, Komuro A, et al. The association of sleep quality with dry eye disease: the Osaka study. *Clin Ophthalmol* 2016;10:1015-21.
- [130] Li S, Ning K, Zhou J, Guo Y, Zhang H, Zhu Y, et al. Sleep deprivation disrupts the lacrimal system and induces dry eye disease. *Exp Mol Med* 2018;50:e451.
- [131] Lim EWL, Chee ML, Sabanayagam C, Majithia S, Tao Y, Wong TY, et al. Relationship between sleep and symptoms of tear dysfunction in Singapore Malays and Indians. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2019;60:1889-97.
- [132] Wu M, Liu X, Han J, Shao T, Wang Y. Association between sleep quality, mood status, and ocular surface characteristics in patients with dry eye disease. *Cornea* 2019;38:311-7.
- [133] Magno MS, Utheim TP, Snieder H, Hammond CJ, Vehof J. The relationship between dry eye and sleep quality. *Ocul Surf* 2021;20:13-9.
- [134] Eisfeld H, Kristallovich F. The Rise of Dark Mode : a qualitative study of an emerging user interface design trend. *Digitala Vetenskapliga Arkivet*; 2020. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1464394&id=3808>.
- [135] Erickson A, Kim K, Bruder G, Welch GF. Effects of Dark Mode graphics on visual acuity and fatigue with virtual reality head-mounted displays. In: 2020 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR); 2020. p. 434-42.
- [136] Dash P, Hu YC. How much battery does dark mode save? an accurate OLED display power profiler for modern smartphones. In: Proceedings of the 19th annual international conference on mobile systems, applications, and services. Association for Computing Machinery; 2021. p. 323-35.
- [137] Pedersen LA, Einarsson SS, Rikheim FA, Sandnes FE. User interfaces in dark mode during daytime - improved productivity or just cool-looking? Universal access in human-computer interaction design approaches and supporting technologies. Springer International Publishing; 2020. p. 178-87.
- [138] Buchner A, Mayr S, Brandt M. The advantage of positive text-background polarity is due to high display luminance. *Ergonomics* 2009;52:882-6.
- [139] Dobres J, Chahine N, Reimer B. Effects of ambient illumination, contrast polarity, and letter size on text legibility under glance-like reading. *Appl Ergon* 2017;60:68-73.
- [140] Miyao M, Ishihara S, Kondo T, Sakakibara H, Furuta M, Yamanaka K, et al. The effect of VDT polarity and target size on pupil area. *Nihon Eisegaku Zasshi* 1992;47:658-62.

- [141] Piepenbrock C, Mayr S, Buchner A. Positive display polarity is particularly advantageous for small character sizes: implications for display design. *Hum Factors* 2014;56:942-51.
- [142] Buchner A, Baumgartner N. Text - background polarity affects performance irrespective of ambient illumination and colour contrast. *Ergonomics* 2007;50:1036-63.
- [143] Sanders SM, McCormick JE. *Human factors in engineering and design*. New York: McGraw-Hill; 1993.
- [144] Shieh K-K. Effects of reflection and polarity on LCD viewing distance. *Int J Ind Ergon* 2000;25:275-82.
- [145] Shieh K-K, Lai Y-K. Effects of ambient illumination, luminance contrast, and stimulus type on subjective preference of VDT target and background color combinations. *Percept Mot Skills* 2008;107:336-52.
- [146] Loh K, Redd S. Understanding and preventing computer vision syndrome. *Malays Fam Physician* 2008;3:128-30.
- [147] Vasylevska K, Yoo H, Akhavan T, Kaufmann H. Towards eye-friendly VR: how bright should it be?. In: 2019 IEEE conference on virtual reality and 3D user interfaces (VR); 2019. p. 566-74.
- [148] Xie X, Song F, Liu Y, Wang S, Yu D. Study on the effects of display color mode and luminance contrast on visual fatigue. *IEEE Access* 2021;9:35915-23.
- [149] Castellano JA. *Handbook of display technology*. 2012.
- [150] Yan Y, Chen K, Xie Y, Song Y, Liu Y. The effects of weight on comfort of virtual reality devices. In: *International conference on applied human factors and ergonomics*. Springer; 2018. p. 239-48.
- [151] Clark AK, Bosanac S, Ho B, Sivamani RK. Systematic review of mobile phone-based tele dermatology. *Arch Dermatol Res* 2018;310:675-89.
- [152] Counter Stat. Desktop screen resolution stats worldwide. Statcounter GlobalStats. 2023.
- [153] Preston L. Mobile screen sizes for 2021 based on data from 2020. <https://worship.agency/2021>.
- [154] Kim DJ, Lim C-Y, Gu N, Park CY. Visual fatigue induced by viewing a tablet computer with a high-resolution display. *Kor J Ophthalmol* 2017;31:388-93.
- [155] Mon-Williams M, Burgess-Limerick R, Flooy A, Wann J. Vertical gaze direction and postural adjustment: an extension of the Heuer model. *J Exp Psychol Appl* 1999;5:35-53.
- [156] Park S, Choi D, Yi J, Lee S, Lee JE, Choi B, et al. Effects of display curvature, display zone, and task duration on legibility and visual fatigue during visual search task. *Appl Ergon* 2017;60:183-93.
- [157] Kundart J, Momemi-Moghadam H, Nguyen J, Hayes JR. Comparing binocular vision suppression on an e-reader versus a smartphone. *J Behav Optim* 2012;23:152-5.
- [158] Kubota S, Kishimoto K, Goshi S, Imai S, Igarashi Y, Matsumoto T, et al. Preferred viewing distance for high definition television LCDs. *J Inst Image Inf Televis Eng* 2011;65:1215-20.
- [159] Bernard ML, Chaparro BS, Mills MM, Halcomb CG. Comparing the effects of text size and format on the readability of computer-displayed Times New Roman and Arial text. *Int J Hum Comput Stud* 2003;59:823-35.
- [160] Lin H, Wu F-G, Cheng Y-Y. Legibility and visual fatigue affected by text direction, screen size and character size on color LCD e-reader. *Displays* 2013;34:49-58.
- [161] Hynes NJ, Cufflin MP, Hampson KM, Mallen EA. The effect of image resolution of display types on accommodative microfluctuations. *Ophthalmic Physiol Opt* 2022;42:514-525.
- [162] Kang JW, Chun YS, Moon NJ. A comparison of accommodation and ocular discomfort change according to display size of smart devices. *BMC Ophthalmol* 2021;21:44.
- [163] Cardona G, López S. Pupil diameter, working distance and illumination during habitual tasks. Implications for simultaneous vision contact lenses for presbyopia. *J Optomet* 2016;9:78-84.
- [164] Sommerich CM, Joines SM, Prilhogos JP. Effects of computer monitor viewing angle and related factors on strain, performance, and preference outcomes. *Hum Factors* 2001;43:39-55.
- [165] Jin S, Kim M, Park J, Jang M, Chang K, Kim D. A comparison of biomechanical workload between smartphone and smartwatch while sitting and standing. *Appl Ergon* 2019;76:105-12.
- [166] Ziefle M. Effects of display resolution on visual performance. *Hum Factors* 1998;40:554-68.
- [167] Czerwinski M, Smith G, Regan T, Meyers B, Robertson GG, Starkweather GK. **Toward characterizing the productivity benefits of very large displays.** <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2016/02/interact2003-productivitylargedisplays.pdf>. *Interact* 2003. 9-16.
- [168] Ni T, Bowman DA, Chen J. Increased display size and resolution improve task performance in information-rich virtual environments. In: *Proceedings of graphics interface 2006*. Citeseer; 2006. p. 139-46.
- [169] Tan DS, Gergle D, Scupelli P, Pausch R. Physically large displays improve performance on spatial tasks. *ACM Trans Comput Hum Interact* 2006;13:71-99.
- [170] Shupp L, Andrews C, Dickey-Kurdziolek M, Yost B, North C. Shaping the display of the future: the effects of display size and curvature on user performance and insights. *Hum Comput Interact* 2009;24:230-72.
- [171] Tan DS, Gergle D, Scupelli P, Pausch R. With similar visual angles, larger displays improve spatial performance. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*; 2003. p. 217-24.
- [172] Robertson G, Czerwinski M, Baudisch P, Meyers B, Robbins D, Smith G, et al. The large-display user experience. *IEEE Compu Graph Appl* 2005;25:44-51.
- [173] Nathan JG, Anderson DR, Field DR, Collins P. Television viewing at home: distances and visual angles of children and adults. *Hum Factors* 1985;27:467-76.
- [174] Nielsen PK, Sogaard K, Skotte J, Wolkoff P. Ocular surface area and human eye blink frequency during VDU work: the effect of monitor position and task. *Eur J Appl Physiol* 2008;103:1-7.
- [175] Sitaula RK, Khatri A. Knowledge, attitudes and practice of computer vision syndrome among medical students and its impact on ocular morbidity. *J Nepal Health Res Coun* 2018;16:291-6.
- [176] Mowatt L, Gordon C, Santosh ABR, Jones T. Computer vision syndrome and ergonomic practices among undergraduate university students. *Int J Clin Pract* 2018;72:e13035.
- [177] Pansell T, Forsblad M, Abdi S. The effect of vertical gaze position on ocular tear film stability. *Clin Exp Optom* 2007;90:176-81.
- [178] Tsubota K, Nakamori K. Dry eyes and video display terminals - correspondence. *N Engl J Med* 1993;328:584.
- [179] Tsubota K, Nakamori K. Effects of ocular surface area and blink rate on tear dynamics. *Arch Ophthalmol* 1995;113:155-8.
- [180] Argilés M, Cardona G, Pérez-Cabrè E, Rodríguez M. Blink rate and incomplete blinks in six different controlled hard-copy and electronic reading conditions. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2015;56:6679-85.
- [181] Koslowe KC, Waitsman H, Biner-Kaplan M. The blink frequency relationship between reading from a computer screen and reading from a printed page. *Optom Vis Dev* 2011;42:168-71.
- [182] Nang J, Kim S, Lee H-J. Classifying useful motion vectors for efficient frame rate up conversion of MC-DCT encoded video streams. *J Inf Sci Eng* 2014;30:1755-71.
- [183] Isensee SH, Bennett CA. The perception of flicker and glare on computer CRT displays. *Hum Factors* 1983;25:177-84.
- [184] Bellers EB, Heynderickx IE, De Haan G, De Weerd L. Optimal television scanning format for CRT-displays. *IEEE Trans Consum Electron* 2001;47:347-53.
- [185] Hayosh TD. Importance of phosphor persistence characteristics in reducing visual distress symptoms in VDT users. *Beam Deflection and Scanning Technologies*. International Society for Optics and Photonics; 1991. p. 399-405.
- [186] Klompenhouwer MA, Velthoven LJ. Motion blur reduction for liquid crystal displays: motion-compensated inverse filtering. *Visual Communications and Image Processing 2004*. International Society for Optics and Photonics; 2004. p. 690-9.
- [187] Hong S, Park JH, Berkeley BH. 66.2: motion-interpolated FRC algorithm for 120Hz LCD. In: *SID symposium digest of technical papers*. Wiley Online Library; 2006. p. 1892-5.
- [188] Hong S, Berkeley B, Kim S-S. Motion image enhancement of LCDs. In: *IEEE international conference on image processing*. Genova: IEEE; 2005. II:17.
- [189] Feng X-F. LCD motion-blur analysis, perception, and reduction using synchronized backlight flashing. *Human vision and electronic imaging XI*. International Society for Optics and Photonics; 2006. p. 60570M.
- [190] Zhang Y, Song W, Teunissen K. A tradeoff between motion blur and flicker visibility of electronic display devices. In: *International symposium on photoelectronic detection and imaging 2007: related technologies and applications*. SPIE; 2008. p. 26-38.
- [191] Kim J, Spjut J, McGuire M, Majercik A, Boudaoud B, Albert R, et al. Esports arms race: latency and refresh rate for competitive gaming tasks. *J Vis* 2019;19:218c-c.
- [192] Chang T-K, Lin C-W, Chang S. 39-3: invited paper: LTPO TFT technology for AMOLEDs. *SID Symposium Digest of technical papers*. Wiley Online Library; 2019. p. 545-8.
- [193] Tai Y-C. Optimal viewing distance for reading text of small font. *Washington: Investigative ophthalmology & visual science*. Seattle; 2016. p. 210.
- [194] Yoshimura M, Kitazawa M, Maeda Y, Mimura M, Tsubota K, Kishimoto T. Smartphone viewing distance and sleep: an experimental study utilizing motion capture technology. *Nat Sci Sleep* 2017;9:59-65.
- [195] Wang A-H, Lin K-C. Effects of display type and ambient illumination on the comprehension performance of young and elderly readers. *J Industr Prod Eng* 2016;33:443-9.
- [196] Boccardo L. Viewing distance of smartphones in presbyopic and non-presbyopic age. *J Optomet* 2021;14:120-6.
- [197] Vahedi Z, Mazloumi A, Sharifzadeh A, Kazemi Z, Garosi E. Head forward flexion, lateral bending and viewing distance in smartphone users: a comparison between sitting and standing postures. *Work* 2020;67:837-46.
- [198] D'Anna C, Schmid M, Conforto S. Linking head and neck posture with muscular activity and perceived discomfort during prolonged smartphone texting. *Int J Ind Ergon* 2021;83:103134.
- [199] Moffet H, Hagberg M, Hansson-Risberg B, Karlqvist L. Influence of laptop computer design and working position on physical exposure variables. *Clin Biomech* 2002;17:368-75.
- [200] Rempel D, Willms K, Anshel J, Jaschinski W, Sheedy J. The effects of visual display distance on eye accommodation, head posture, and vision and neck symptoms. *Hum Factors* 2007;49:830-8.
- [201] Iwasaki T, Tawara A. Effects of viewing distance on accommodative and pupillary responses following a three-dimensional task. *Ophthalmic Physiol Opt* 2002;22:113-8.
- [202] Sakamoto K, Asahara S, Yamashita K, Okada A. Influence of viewing distance and size of TV on visual fatigue and feeling of involvement. *J Hum Ergol* 2012;41:17-30.
- [203] Sakamoto K, Aoyama S, Asahara S, Yamashita K, Okada A. Evaluation of the effect of viewing distance on visual fatigue in a home viewing environment. *J Hum Ergol* 2010;39:1-13.
- [204] Long J, Cheung R, Duong S, Paynter R, Asper L. Viewing distance and eyestrain symptoms with prolonged viewing of smartphones. *Clin Exp Optom* 2017;100:133-7.

- [205] Huang H-M, Chang DS-T, Wu P-C. The association between near work activities and myopia in children - a systematic review and meta-analysis. *PLoS One* 2015; 10:e0140419.
- [206] Sherwin JC, Reacher MH, Keogh RH, Khawaja AP, Mackey DA, Foster PJ. The association between time spent outdoors and myopia in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2012;119:2141-51.
- [207] Blascheck T, Bezerianos A, Besançon L, Lee B, Isenberg P. Preparing for perceptual studies: position and orientation of wrist-worn smartwatches for reading tasks. In: Proceedings of the Workshop on data visualization on mobile devices held at ACM CHI; 2018.
- [208] Rau P-LP, Zheng J, Guo Z. Immersive reading in virtual and augmented reality environment. *Informat Learn Sci* 2021;122:464-79.
- [209] Bao J, Drobe B, Wang Y, Chen K, Seow EJ, Lu F. Influence of near tasks on posture in myopic Chinese schoolchildren. *Optom Vis Sci* 2015;92:908-15.
- [210] Bababekova Y, Rosenfield M, Hue JE, Huang RR. Font size and viewing distance of handheld smart phones. *Optom Vis Sci* 2011;88:795-7.
- [211] Falkenberg HK, Johansen TR, Thorud HMS. Headache, eyestrain, and musculoskeletal symptoms in relation to smartphone and tablet use in healthy adolescents. 2020.
- [212] Panke K, Jakobsone L, Svede A, Krumina G. Smartphone viewing distance during active or passive tasks and relation to heterophoria. In: Fourth international conference on applications of optics and photonics. International Society for Optics and Photonics; 2019, 11207714. [https://www.researchgate.net/publication/n/333816944\\_Smartphone\\_viewing\\_distance\\_during\\_active\\_or\\_passive\\_tasks\\_and\\_relation\\_to\\_heterophoria](https://www.researchgate.net/publication/n/333816944_Smartphone_viewing_distance_during_active_or_passive_tasks_and_relation_to_heterophoria).
- [213] Sano S, Kanda T, Uemoto K, Hasegawa A, Kojima T, Miyao M. The effects of illuminance on visibility of reading tablet devices and E-paper. In: SID symposium digest of technical papers. Wiley Online Library; 2012. p. 1186-9.
- [214] Wu H-C, Chan C-CH. E-book character size design for young adults in Taiwan. *WSEAS Trans Inf Sci Appl* 2006;3:2159-64.
- [215] Salmerón-Campillo RM, Jaskalski M, Lara-Cánovas S, González-Méjome JM, Lopez-Gil N. Novel method of remotely monitoring the face-device distance and face illuminance using mobile devices: a pilot study. *J Ophthalmol* 2019;2019.
- [216] Tahir HJ, Murray LI, Parry NR, Aslam TM. Optimisation and assessment of three modern touch screen tablet computers for clinical vision testing. *PLoS One* 2014; 9:e95074.
- [217] Lee D-S. Preferred viewing distance of liquid crystal high-definition television. *Appl Ergon* 2012;43:151-6.
- [218] Lee D-S, Huang M-L. Screen luminance, subtitle, and viewing angle on viewing distance of liquid crystal display high-definition television. In: 2012 international conference on computer science and electronics engineering. IEEE; 2012. p. 106-9.
- [219] Emoto M, Kasakabe Y, Sagawara M. High-frame-rate motion picture quality and its independence of viewing distance. *J Disp Technol* 2014;10:635-41.
- [220] Lund AM. The influence of video image size and resolution on viewing-distance preferences. *SMPTE J* 1993;102:406-15.
- [221] Noland K, Truong L. A survey of UK television viewing conditions, vol. 287. BBC Research & Development White Paper; 2015. p. 1-58.
- [222] Chen H, Sung J, Ha T, Park Y, Hong C. Backlight local dimming algorithm for high contrast LCD-TV. *Proc of ASIC* 2006:168-71.
- [223] Virey EH, Baron N. 45-1: status and prospects of microLED displays. In: SID symposium digest of technical papers. Wiley Online Library; 2018. p. 593-6.
- [224] Choi MK, Yang J, Hyeon T, Kim D-H. Flexible quantum dot light-emitting diodes for next-generation displays. *npj Flexible Electr* 2018;2:1-14.
- [225] Huang W, Jin Q, Zhao D, Sun Z, Li W, Shu S, et al. 62-2: flexible full-color active-matrix quantum-dot OLED display. In: SID symposium digest of technical papers. Wiley Online Library; 2021. p. 888-91.
- [226] Hanhart P, Korshunov P, Ebrahimi T, Thomas Y, Hoffmann H. Subjective quality evaluation of high dynamic range video and display for future TV. *SMPTE Motion Imaging J* 2015;124:1-6.
- [227] Hoffman DM, Stepien NN, Xiong W. The importance of native panel contrast and local dimming density on perceived image quality of high dynamic range displays. *J Soc Inf Disp* 2016;24:216-28.
- [228] Fang J, Xu H, Lv W, Luo MR. 59-3: proper luminance of HDR TV system. In: SID symposium digest of technical papers. Wiley Online Library; 2016. p. 806-8.
- [229] Murray I, Plainis S, Carden D. The ocular stress monitor: a new device for measuring discomfort glare. *Light Res Technol* 2002;34:231-9.
- [230] Gowrisankaran S, Sheedy JE, Hayes JR. Eyelid squint response to asthenopia-inducing conditions. *Optom Vis Sci* 2007;84:611-9.
- [231] Dick R. The biological basis for the Canadian guideline for outdoor lighting 2 - impact of the brightness of light. *J Roy Astron Soc Can* 2020;114:205-10.
- [232] Hacheit J, Toffoli D, Melo M, Bessa M, Debatista K, Chalmers A. Displaying detail in bright environments: a 10,000 nit display and its evaluation. *Signal Process Image Commun* 2019;76:125-34.
- [233] Jijilashvili G. Omdia research reveals 12.5 million consumer VR headsets sold in 2021 with content spend exceeding \$2bn. *INFORMA*; 2021. [www.https://www.gamedeveloper.com/blogs/omdia-research-reveals-12-5-million-consumer-vr-headsets-sold-in-2021-with-content-spend-exceeding-2bn](https://www.gamedeveloper.com/blogs/omdia-research-reveals-12-5-million-consumer-vr-headsets-sold-in-2021-with-content-spend-exceeding-2bn).
- [234] Mazuryk T, Gervautz M. Virtual reality-history, applications, technology and future. In: CiteSeer, editor. [https://www.researchgate.net/publication/2617390\\_Virtual\\_Reality\\_-\\_History\\_Applications\\_Technology\\_and\\_Future1996](https://www.researchgate.net/publication/2617390_Virtual_Reality_-_History_Applications_Technology_and_Future1996).
- [235] LaValle SM, Yershova A, Katsav M, Antonov M. Head tracking for the Oculus rift. In: 2014 IEEE international conference on robotics and automation (ICRA). Hong Kong, China: IEEE; 2014. p. 187-94.
- [236] Hillmann C. Comparing the gear vr, oculus go, and oculus quest. *Unreal for Mobile and Standalone VR*. Springer; 2019. p. 141-67.
- [237] Xiong J, Hsiang E-I, He Z, Zhan T, Wu S-T. Augmented reality and virtual reality displays: emerging technologies and future perspectives. *Light Sci Appl* 2021;10: 1-30.
- [238] Gabbard JL, Mehra DG, Swan JE. Effects of AR display context switching and focal distance switching on human performance. *IEEE Trans Visual Comput Graph* 2018;25:2228-41.
- [239] Konrad R, Cooper EA, Wetzstein G. Novel optical configurations for virtual reality: evaluating user preference and performance with focus-tunable and monovision near-eye displays. In: Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems; 2016. p. 1211-20.
- [240] Padmanaban N, Konrad R, Stramer T, Cooper EA, Wetzstein G. Optimizing virtual reality for all users through gaze-contingent and adaptive focus displays. *Proc Natl Acad Sci USA* 2017;114:2183-8.
- [241] Jerdan SW, Grindle M, Van Woerden HC, Boulos MNK. Head-mounted virtual reality and mental health: critical review of current research. *JMIR Serious Games* 2018;6:e9226.
- [242] Zhan T, Yin K, Xiong J, He Z, Wu S-T. Augmented reality and virtual reality displays: perspectives and challenges. *iScience* 2020;23:101397.
- [243] Patney A, Salvi M, Kim J, Kaplanyan A, Wyman C, Bentley N, et al. Towards foveated rendering for gaze-tracked virtual reality. *ACM Trans Graph* 2016;35: 1-12.
- [244] Kramida G. Resolving the vergence-accommodation conflict in head-mounted displays. *IEEE Trans Visual Comput Graph* 2015;22:1912-31.
- [245] Saredakis D, Szpak A, Birkhead B, Keage HAD, Rizzo A, Loetscher T. Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. *Front Hum Neurosci* 2020;14. Article 96.
- [246] Moon-Williams M, Wann JP, Rushton S. Binocular vision in a virtual world: visual deficits following the wearing of a head-mounted display. *Ophthalmic Physiol Opt* 1993;13:387-91.
- [247] Ha S-G, Na K-H, Kweon I-J, Suh Y-W, Kim S-H. Effects of head-mounted display on the oculomotor system and refractive error in normal adolescents. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2016;53:238-45.
- [248] Tychsén L, Foeller P. Effects of immersive virtual reality headset viewing on young children: visuomotor function, postural stability, and motion sickness. *Am J Ophthalmol* 2020;209:151-9.
- [249] Alhassan M, Alhamad F, Bokhary K, Almastanyir A. Effects of virtual reality head-mounted displays on oculomotor functions. *Int J Ophthalmol Vis Sci* 2021;6:10-6.
- [250] Turnbull PRK, Wong J, Feng J, Wang MIM, Craig JP. Effect of virtual reality headset wear on the tear film: a randomised crossover study. *Contact Lens Anterior Eye* 2019;42:640-5.
- [251] Marshev V, Bošić H J, Pallamin N, Cochener B, Nourrit V. Impact of virtual reality headset use on eye blinking and lipid layer thickness. *J Fr Ophtalmol* 2021; 44:1029-37.
- [252] Ahmad MSS, Azemin MZC, Ithnin MH, Tamrin MIM. Short term effect of virtual reality on tear film stability and ocular discomfort. *J Eng Sci Res* 4:40-46.
- [253] Kim J, Sunil Kumar Y, Yoo J, Kwon S. Change of blink rate in viewing virtual reality with HMD. *Symmetry* 2018;10. Article 400.
- [254] Ishiguro T, Suzuki C, Nakakoji H, Funagira Y, Takao M. Immersive experience influences eye blink rate during virtual reality gaming. *Pol Psychol Bull* 2019;50: 49-51.
- [255] Kim Y, Kim H, Ko H, Kim H. Psychophysiological changes by navigation in a virtual reality. In: 2001 conference proceedings of the 23rd annual international conference of the IEEE engineering in medicine and biology society. IEEE; 2001. p. 3773-6.
- [256] Kim YY, Kim HJ, Kim EN, Ko HD, Kim HT. Characteristic changes in the physiological components of cybersickness. *Psychophysiology* 2005;42:616-25.
- [257] Chen Y, Wang Q, Chen H, Song X, Tang H, Tian M. An overview of augmented reality technology. *J Phys Conf* 2019;022082. IOP Publishing.
- [258] Kress B, Starner T. A review of head-mounted displays (HMD) technologies and applications for consumer electronics. *Photonic Applications for Aerospace, Commercial, and Harsh Environments IV*. International Society for Optics and Photonics; 2013. p. 87200A.
- [259] Kudina O, Verbeek P-P. Ethics from within: Google Glass, the Collingridge dilemma, and the mediated value of privacy. *Sci Technol Hum Val* 2019;44: 291-314.
- [260] Drascic D, Milgram P. Perceptual issues in augmented reality. *Stereoscopic displays and virtual reality systems III*. Spie; 1996. p. 123-34.
- [261] Weech S, Kenny S, Barnett-Cowan M. Presence and cybersickness in virtual reality are negatively related: a review. *Front Psychol* 2019;10. Article 158.
- [262] Iqbal M, Said O, Ibrahim O, Soliman A. Visual sequelae of computer vision syndrome: a cross-sectional case-control study. *J Ophthalmol* 2021;2021: 6630286.
- [263] Carkeet A, Lister LJ. Computer monitor pixelation and Sloan letter visual acuity measurement. *Ophthalmic Physiol Opt* : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists) 2018;38:144-51.
- [264] Jaschinski W, Bonacker M, Alshuth E. Accommodation, convergence, pupil diameter and eye blinks at a CRT display flickering near fusion limit. *Ergonomics* 1996;39:152-64.
- [265] Jaimita S, Jaschinski W, Baccino T. No evidence for prolonged latency of saccadic eye movements due to intermittent light of a CRT computer screen. *Ergonomics* 2004;47:105-14.
- [266] Lee CC, Chiang HS, Hsiao MH. Effects of screen size and visual presentation on visual fatigue based on regional brain wave activity. *J Supercomput* 2021;77: 4831-51.
- [267] Wu HC, Lee CL, Lin CT. Ergonomic evaluation of three popular Chinese e-book displays for prolonged reading. *Int J Ind Ergon* 2007;37:761-70.

- [268] Wolska A, Switula M. Luminance of the surround and visual fatigue of VDT operators. *Int J Occup Saf Ergon* 2015;5:553-80.
- [269] Janosik E, Grzesik J. [Influence of different lighting levels at workstations with video display terminals on operators' work efficiency]. *Med Pr* 2003;54:123-32.
- [270] Shiek KK. Effects of reflection and polarity on LCD viewing distance. *Int J Ind Ergon* 2000;25:275-82.
- [271] Lin YT, Lin PH, Hwang SL, Jeng SC, Lin YR. Ergonomic evaluation of electronic paper: influences of anti-reflection surface treatment, illumination, and curvature on legibility and visual fatigue. *J Soc Inf Disp* 2008;16:91-9.
- [272] Inomata T, Nakamura M, Iwagami M, Shiang T, Yoshimura Y, Fujimoto K, et al. Risk factors for severe dry eye disease: crowdsourced research using DryEyeRhythm. *Ophthalmology* 2019;126:766-8.
- [273] Chan A, Lee P. Effect of display factors on Chinese reading times, comprehension scores and preferences. *Behav Inf Technol* 2005;24:81-91.
- [274] Mocchi F, Serra A, Corrias GA. Psychological factors and visual fatigue in working with video display terminals. *Occup Environ Med* 2001;58:267-71.
- [275] Altalhi A, Khayyat W, Khojah O, Alsalmi M, Almarzouki H. Computer vision syndrome among health sciences students in Saudi Arabia: prevalence and risk factors. *Cureus* 2020;12:e7060.
- [276] Seguí Mdel M, Cabrero-García J, Crespo A, Verdu J, Ronda E. A reliable and valid questionnaire was developed to measure computer vision syndrome at the workplace. *J Clin Epidemiol* 2015;68:662-73.
- [277] Cantó-Sancho N, Sánchez-Brau M, Ivorra-Soler B, Seguí-Crespo M. Computer vision syndrome prevalence according to individual and video display terminal exposure characteristics in Spanish university students. *Int J Clin Pract* 2021;75:e13681.
- [278] Sánchez-Brau M, Domenech-Amigot B, Brocal-Fernández F, Quesada-Rico JA, Seguí-Crespo M. Prevalence of computer vision syndrome and its relationship with ergonomic and individual factors in presbyopic VDT workers using progressive addition lenses. *Int J Environ Res Public Health* 2020;17: Article 1003.
- [279] Artime Rios EM, Sánchez Lasheras F, Suarez Sánchez A, Iglesias-Rodríguez FJ, Seguí Crespo MDM. Prediction of computer vision syndrome in health personnel by means of genetic algorithms and binary regression trees. *Sensors* 2019;19: Article 2800.
- [280] Tauste A, Ronda E, Molina MJ, Seguí M. Effect of contact lens use on computer vision syndrome. *Ophthalmic Physiol Opt: J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2016;36:112-9.
- [281] Courtin R, Pereira B, Naughton G, Chamoux A, Chiambaretta F, Lanbers C, et al. Prevalence of dry eye disease in visual display terminal workers: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2016;6:e009675.
- [282] Bazeer S, Jansonius N, Snieder H, Hammond C, Vehof J. The relationship between occupation and dry eye. *Ocul Surf* 2019;17:484-90.
- [283] Sa EC, Ferrelin Junior M, Rocha LE. Risk factors for computer visual syndrome (CVS) among operators of two call centers in São Paulo, Brazil. *Work* 2012;41 (Suppl 1):3568-74.
- [284] Li R, Ying B, Qian Y, Chen D, Li X, Zhu H, et al. Prevalence of self-reported symptoms of computer vision syndrome and associated risk factors among school students in China during the COVID-19 pandemic. *Ophthalmic Epidemiol* 2021: 1-11.
- [285] Wang L, Wei X, Deng Y. Computer vision syndrome during SARS-CoV-2 outbreak in university students: a comparison between online courses and classroom lectures. *Front Public Health* 2021;9:696036.
- [286] Zayed HAM, Saied SM, Younis EA, Atlam SA. Digital eye strain: prevalence and associated factors among information technology professionals, Egypt. *Environ Sci Pollut Res Int* 2021;28:25187-95.
- [287] Assefa NI, Weldemichael DZ, Alemu HW, Anbesse DH. Prevalence and associated factors of computer vision syndrome among bank workers in Gondar City, northwest Ethiopia, 2015. *Clin Optom* 2017;9:67-76.
- [288] Dessie A, Adane F, Nega A, Wami SD, Cheroos DH. Computer vision syndrome and associated factors among computer users in Debre Tabor town, northwest Ethiopia. *J Environ Public Health* 2018;2018:4107590.
- [289] Lemma MG, Beyene KG, Tiruneh MA. Computer vision syndrome and associated factors among secretaries working in ministry offices in Addis Ababa, Ethiopia. *Clin Optom* 2020;12:213-22.
- [290] Derbew H, Nega A, Tefera W, Zafu T, Tsehaye K, Haile K, et al. Assessment of computer vision syndrome and personal risk factors among employees of commercial bank of Ethiopia in addis ababa, Ethiopia. *J Environ Public Health* 2021;2021:6636907.
- [291] Boadi-Kusi SB, Abu SL, Acheampong GO, Aduemang PO, Abu EK. Association between poor ergophthalmologic practices and computer vision syndrome among university administrative staff in Ghana. *J Environ Public Health* 2020;27: 7516357.
- [292] Boadi-Kusi SB, Aduemang PO, Hammond FA, Antiri EO. Computer vision syndrome and its associated ergonomic factors among bank workers. *Int J Occup Saf Ergon* 2021;28:1219-26.
- [293] Tomei G, Rosati MV, Clarrocca M, Capozzella A, Pimpinella B, Casale T, et al. Anxiety, musculoskeletal and visual disorders in video display terminal workers. *Minerva Med* 2006;97:459-66.
- [294] Bhandari DJ, Choudhary S, Doshi VG. A community-based study of asthenopia in computer operators. *Indian J Ophthalmol* 2008;56:51-5.
- [295] Logaraj M, Madhupriya V, Hegde S. Computer vision syndrome and associated factors among medical and engineering students in Chennai. *Ann Med Health Sci Res* 2014;4:179-85.
- [296] Kharel Sitaula R, Khatri A. Knowledge, Attitude and practice of Computer Vision Syndrome among medical students and its impact on ocular morbidity. *J Nepal Health Res Counc* 2018;16:291-6.
- [297] Patil A, Bhavya Chaudhury S, Srivastava S. Eyeing computer vision syndrome: awareness, knowledge, and its impact on sleep quality among medical students. *Ind Psychiatr J* 2019;28:68-74.
- [298] Bahkir FA, Grandee SS. Impact of the COVID-19 lockdown on digital device-related ocular health. *Indian J Ophthalmol* 2020;68:2378-83.
- [299] Mohan A, Sen P, Shah C, Jain E, Jain S. Prevalence and risk factor assessment of digital eye strain among children using online e-learning during the COVID-19 pandemic: digital eye strain among kids (DESK study-1). *Indian J Ophthalmol* 2021;69:140-4.
- [300] Gupta R, Chauhan I, Varshney A. Impact of e-schooling on digital eye strain in coronavirus disease era: a survey of 654 students. *J Curr Ophthalmol* 2021;33: 158-64.
- [301] Ganne P, Najeeb S, Chaitanya G, Sharma A, Krishnappa NC. Digital eye strain epidemic amid COVID-19 pandemic - a cross-sectional survey. *Ophthalmic Epidemiol* 2021;28:285-92.
- [302] Uchino M, Yokoi N, Uchino Y, Dogru M, Kawashima M, Komuro A, et al. Prevalence of dry eye disease and its risk factors in visual display terminal users: the Osaka study. *Am J Ophthalmol* 2013;156:759-66.
- [303] Ozawa Y, Kawashima M, Inoue S, Inagaki E, Suzuki A, Ooe E, et al. Bilberry extract supplementation for preventing eye fatigue in video display terminal workers. *J Nutr Health Aging* 2015;19:548-54.
- [304] Gammoh Y. Digital eye strain and its risk factors among a university student population in Jordan: a cross-sectional study. *Cureus* 2021;13:e13575.
- [305] Kim J, Hwang Y, Kang S, Kim M, Kim TS, Kim J, et al. Association between exposure to smartphones and ocular health in adolescents. *Ophthalmic Epidemiol* 2016;23:269-76.
- [306] Reddy SC, Low CK, Lim YP, Low Li, Mardina F, Nursaleha MP. Computer vision syndrome: a study of knowledge and practices in university students. *Nepal J Ophthalmol* 2013;5:161-8.
- [307] Sánchez-Valerio MDR, Mohamed-Noriega K, Zamora-Ginez I, Baez Duarte BG, Vallejo-Ruiz V. Dry eye disease association with computer exposure time among subjects with computer vision syndrome. *Clin Ophthalmol* 2020;14:4311-7.
- [308] Poudel S, Khanal SP. Magnitude and determinants of computer vision syndrome (CVS) among IT workers in Kathmandu, Nepal. *Nepal J Ophthalmol* 2020;12: 245-51.
- [309] Shrestha P, Pradhan PMS, Malla OK. Computer vision syndrome among patients attending the outpatient department of ophthalmology in a tertiary care centre: a descriptive cross-sectional study. *JNMA J Nepal Med Assoc* 2020;58:721-4.
- [310] Fernandez-Villacorta D, Soriano-Moreno AN, Galvez-Oloritegui T, Agui-Santivañez N, Soriano-Moreno DR, Benites-Zapata VA. Computer visual syndrome in graduate students of a private university in Lima, Perú. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2021;21: Article 00005-8.
- [311] Moldovan HR, Voldazan ST, Moldovan G, Vlasu MA, Moldovan G, Panaitecu R. Accommodative asthenopia among Romanian computer-using medical students-A neglected occupational disease. *Arch Environ Occup Health* 2020;75:235-41.
- [312] Al Rashidi SH, Alhumaidan H. Computer vision syndrome prevalence, knowledge and associated factors among Saudi Arabia University Students: is it a serious problem? *Int J Health Sci* 2017;11:17-9.
- [313] Al Tawil I, Aldokhayel S, Zeitouni L, Qadoumi T, Hussein S, Ahamed SS. Prevalence of self-reported computer vision syndrome symptoms and its associated factors among university students. *Eur J Ophthalmol* 2020;30:189-95.
- [314] Al Dandan O, Hassan A, Al Shammari M, Al Jawad M, Alsaif HS, Alarfaj K. Digital eye strain among radiologists: a survey-based cross-sectional study. *Acad Radiol* 2021;28:1142-8.
- [315] Turkistani AN, Al-Romali A, Alrayes MM, Al Ojan A, Al-Issawi W. Computer vision syndrome among Saudi population: an evaluation of prevalence and risk factors. *J Fam Med Prim Care* 2021;10:2313-8.
- [316] Alabdulkader B. Effect of digital device use during COVID-19 on digital eye strain. *Clin Exp Optom* 2021;104:698-704.
- [317] Zalut MM, Amer SM, Wassif GA, El Tarhoumy SA, Mansour TM. Computer vision syndrome, visual ergonomics and amelioration among staff members in a Saudi medical college. *Int J Occup Saf Ergon* 2021;1-9.
- [318] Porcar E, Pons AM, Lorente A. Visual and ocular effects from the use of flat-panel displays. *Int J Ophthalmol* 2016;9:881-5.
- [319] Hayes JR, Sheedy JR, Stelmack JA, Heaney CA. Computer use, symptoms, and quality of life. *Optometry and vision science. Off Publ Am Acad Optomet* 2007;84: 738-44.
- [320] Galindo-Romero C, Ruiz-Porras A, Garcia-Ayuso D, Di Pierdomenico J, Sobrado-Calvo P, Valiente-Soriano FJ. Computer vision syndrome in the Spanish population during the COVID-19 lockdown. *Optom Vis Sci: Off Publ Am Acad Optomet* 2021;98:1255-62.
- [321] Ranasinghe P, Wathurapatha WS, Perera YS, Lamabadusuriya DA, Kulatunga S, Jayawardana N, et al. Computer vision syndrome among computer office workers in a developing country: an evaluation of prevalence and risk factors. *BMC Res Notes* 2016;9: Article 150.
- [322] Salibello C, Nilssen E. Is there a typical VDT patient? A demographic analysis. *J Am Optom Assoc* 1995;66:479-83.
- [323] González-Pérez M, Susi R, Antona E, Barrio A, González E. The Computer-Vision Symptom Scale (CVSS17): development and initial validation. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2014;55:4504-11.
- [324] McMonnies C. Computer vision syndrome can be identified in patients whose dry eye symptoms are specific to computer use. *J Optomet* 2021;14:3-10.
- [325] Woods V. Musculoskeletal disorders and visual strain in intensive data processing workers. *Occup Med (Lond)* 2005;55:121-7.

- [326] Ye Z, Honda S, Abe Y, Kusano Y, Takamura N, Imamura Y, et al. Influence of work duration or physical symptoms on mental health among Japanese visual display terminal users. *Ind Health* 2007;45:328-33.
- [327] Sen A, Richardson S. A study of computer-related upper limb discomfort and computer vision syndrome. *J Hum Ergol* 2007;36:45-50.
- [328] Carta A, Pasquini L, Lucchini R, Semeraro F, Apostoli P. [Relation of asthenopia and some ophthalmological, neuropsychological, and musculoskeletal parameters in workers assigned to video display terminals]. *Med Lav* 2003;94:466-79.
- [329] Cantó-Sancho N, Ronda E, Cabrero-García J, Casati S, Carta A, Porru S, et al. Rasch-validated Italian scale for diagnosing digital eye strain: the Computer Vision Syndrome Questionnaire IT. *Int J Environ Res Publ Health* 2022;19: article 4506.
- [330] Yoshimura K, Morita Y, Konomi K, Ishida S, Fujiwara D, Kobayashi K, et al. A web-based survey on various symptoms of computer vision syndrome and the genetic understanding based on a multi-trait genome-wide association study. *Sci Rep* 2021;11. Article 9446.
- [331] Lin CW, Yeh FM, Wu BW, Yang CH. The effects of reflected glare and visual field lighting on computer vision syndrome. *Clin Exp Optom* 2019;102:513-20.
- [332] Yan K, Rosenfield M. Digital eye strain and the critical fusion frequency. *Optom Vis Sci* 2022;99:253-8.
- [333] Portello JK, Rosenfield M, Chu CA. Blink rate, incomplete blinks and computer vision syndrome. *Optom Vis Sci : Off Publ Am Acad Optomet* 2013;90:482-7.
- [334] Sheedy JE, Parsons SD. The video display terminal eye clinic: clinical report. *Optom Vis Sci* 1990;67:622-6.
- [335] Bhargava R, Kumar P, Kaur A, Kumar M, Mishra A. The diagnostic value and accuracy of conjunctival impression cytology, dry eye symptomatology, and routine tear function tests in computer users. *J Lab Physicians* 2014;6:102-8.
- [336] Wu H, Wang Y, Dong N, Yang F, Lin Z, Shang X, et al. Meibomian gland dysfunction determines the severity of the dry eye conditions in visual display terminal workers. *PLoS One* 2014;9:e105575.
- [337] Coles-brennan C, Sulley A, Young G. Management of digital eye strain. *Clin Exp Optom* 2019;102:18-29.
- [338] Sheedy JE, Shaw-McMinn PG. Diagnosing and treating computer-related vision problems. Butterworth-Heinemann, Elsevier; 2003.
- [339] Talens-Estareles C, García-Marqués JV, Cervino A, García-Lázaro S. Use of digital displays and ocular surface alterations: a review. *Ocul Surf* 2021;19:252-65.
- [340] Touma Sawaya RI, El Meski N, Saba JB, Lahoud C, Saab I, Haouli M, et al. Asthenopia among university students: the eye of the digital generation. *J Fam Med Prim Care* 2020;9:3921-32.
- [341] Xu Y, Deng G, Wang W, Xiong S, Xu X. Correlation between handheld digital device use and asthenopia in Chinese college students: a Shanghai study. *Acta Ophthalmol* 2019;97:e442-7.
- [342] Choi JH, Li Y, Kim SH, Jin R, Kim YH, Choi W, et al. The influences of smartphone use on the status of the tear film and ocular surface. *PLoS One* 2018;13:e0206541.
- [343] Ribelles A, Galbis-Estrada C, Parras MA, Vivar-Llopis B, Marco-Ramírez C, Diaz-Llopis M. Ocular surface and tear film changes in older women working with computers. *BioMed Res Int* 2015;2015:467039.
- [344] Salinas-Toro D, Cartes C, Segovia C, Alonso MJ, Soberon B, Sepulveda M, et al. High frequency of digital eye strain and dry eye disease in teleworkers during the coronavirus disease (2019) pandemic. *Int J Occup Saf Ergon* 2021:1-6.
- [345] Uchino M, Uchino Y, Dogru M, Kawashima M, Yokoi N, Komuro A, et al. Dry eye disease and work productivity loss in visual display users: the Osaka study. *Am J Ophthalmol* 2014;157:294-300.
- [346] Golebiowski B, Long J, Harrison K, Lee A, Chidi-Egboka N, Asper L. Smartphone use and effects on tear film, blinking and binocular vision. *Curr Eye Res* 2020;45: 428-34.
- [347] Mohan A, Sen P, Shah C, Datt K, Jain E. Binocular accommodation and vergence dysfunction in children attending online classes during the COVID-19 pandemic: digital eye strain in kids (DESK) study-2. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus* 2021; 58:224-31.
- [348] Saxena R, Gupta V, Rakheja V, Dhiman R, Bhardwaj A, Vashist P. Lifestyle modification in school-going children before and after COVID-19 lockdown. *Indian J Ophthalmol* 2021;69:3623-9.
- [349] Mylona I, Glynnatsis MN, Dermeoudi M, Glynnatsis NM, Floros GD. Validation of the digital eye strain questionnaire and pilot application to online gaming addicts. *Eur J Ophthalmol* 2022;32:11206721211073262.
- [350] Cardona G, García C, Serés C, Vilaseca M, Gispets J. Blink rate, blink amplitude, and tear film integrity during dynamic visual display terminal tasks. *Curr Eye Res* 2011;36:190-7.
- [351] Singh S, Downie LE, Anderson AJ. Do blue-blocking lenses reduce eye strain from extended screen time? A double-masked randomized controlled trial. *Am J Ophthalmol* 2021;226:243-51.
- [352] Yazici A, Sari ES, Sahin G, Kilit A, Cakmak H, Ayar O, et al. Change in tear film characteristics in visual display terminal users. *Eur J Ophthalmol* 2015;25:85-9.
- [353] Nakamura S, Kinoshita S, Yokoi N, Ogawa Y, Shibuya M, Nakashima H, et al. Lacrimal hypofunction as a new mechanism of dry eye in visual display terminal users. *PLoS One* 2010;5:e11119.
- [354] Wang MTM, Tien L, Han A, Lee JM, Kim D, Markoulli M, et al. Impact of blinking on ocular surface and tear film parameters. *Ocul Surf* 2018;16:424-9.
- [355] Doane MG. Blinking and the mechanics of the lacrimal drainage system. *Ophthalmology* 1981;88:844-51.
- [356] Holly FJ. Tear film physiology. *Int Ophthalmol Clin* 1987;27:2-6.
- [357] Korb DR, Baron DP, Herman JP, Finemore VM, Exford JM, Hermosa JL, et al. Tear film lipid layer thickness as a function of blinking. *Cornea* 1994;13:354-9.
- [358] Tsubota K. Tear dynamics and dry eye. *Prog Retin Eye Res* 1998;17:565-96.
- [359] Freudenthaler N, Neuf H, Kadner G, Schlote T. Characteristics of spontaneous eyeblink activity during video display terminal use in healthy volunteers. *Graefes Arch Clin Exper Ophthalmol* 2003;241:914-20.
- [360] Patel S, Henderson R, Bradley L, Galloway B, Hunter L. Effect of visual display unit use on blink rate and tear stability. *Optom Vis Sci* 1991;68:888-92.
- [361] Schlote T, Kadner G, Freudenthaler N. Marked reduction and distinct patterns of eye blinking in patients with moderately dry eyes during video display terminal use. *Graefes Arch Clin Exper Ophthalmol* 2004;242:306-12.
- [362] Wong KKW, Wan WY, Kaye SB. Blinking and operating: cognition versus vision. *Br J Ophthalmol* 2002;86. Article 479.
- [363] Rosenfield M, Jahan S, Nunez K, Chan K. Cognitive demand, digital screens and blink rate. *Comput Hum Behav* 2015;51:403-6.
- [364] Su S-B, Lu C-W, Sheen J-W, Kuo S-C, Guo H-R. Tear secretion dysfunction among women workers engaged in light-on tests in the TFT-LCD industry. *BMC Publ Health* 2006;6. Article 303.
- [365] Chu C, Rosenfield M, Portello JK, Benzoni JA, Collier JD. A comparison of symptoms after viewing text on a computer screen and hardcopy. *Ophthalmic Physiol Opt* 2011;31:29-32.
- [366] Chu CA, Rosenfield M, Portello JK. Computer vision syndrome: blink rate and dry eye during hard copy or computer viewing. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2010;51: 957 [Abstract].
- [367] McMonnies CW. Incomplete blinking: exposure keratopathy, lid wiper epitheliopathy, dry eye, refractive surgery, and dry contact lenses. *Contact Lens Astner Eye* 2007;30:37-51.
- [368] Hirota M, Uozato H, Kawamorita T, Shibata Y, Yamamoto S. Effect of incomplete blinking on tear film stability. *Optom Vis Sci : Off Publ Am Acad Optomet* 2013; 90:650-7.
- [369] Himebaugh NL, Begley CG, Bradley A, Wilkinson JA. Blinking and tear break-up during four visual tasks. *Optom Vis Sci* 2009;86:E106-14.
- [370] Harrison WW, Begley CG, Liu H, Chen M, Garcia M, Smith JA. Menisci and fullness of the blink in dry eye. *Optom Vis Sci* 2008;85:706-14.
- [371] Maducoc MM, Haider A, Nalbandian A, Youm JH, Morgan PV, Crow RW. Visual consequences of electronic reader use: a pilot study. *Int Ophthalmol* 2017;37: 433-9.
- [372] Doguizi S, Sekeroglu MA, Inanc M, Yilmazbas P. Evaluation of tear meniscus dimensions using anterior segment optical coherence tomography in video terminal display workers. *Clin Exp Optom* 2019;102:478-84.
- [373] Moon JH, Kim KW, Moon NJ. Smartphone use is a risk factor for pediatric dry eye disease according to region and age: a case control study. *BMC Ophthalmol* 2016; 16. Article 188.
- [374] Fenga C, Aragona P, Gacciola A, Spinella R, Di Nola C, Ferreri F, et al. Meibomian gland dysfunction and ocular discomfort in video display terminal workers. *Eye* 2008;22:91-5.
- [375] Kawashima M, Yamatsuji M, Yokoi N, Fukui M, Ichihashi Y, Kato H, et al. Screening of dry eye disease in visual display terminal workers during occupational health examinations: the Moriguchi study. *J Occup Health* 2015;57: 253-8.
- [376] Yokoi N, Uchino M, Uchino Y, Dogru M, Kawashima M, Komuro A, et al. Importance of tear film instability in dry eye disease in office workers using visual display terminals: the Osaka study. *Am J Ophthalmol* 2015;159:748-54.
- [377] Wolffsohn JS, Arita R, Chalmeers R, Djallian A, Dogru M, Dumbleton K, et al. TPOS DEWS II diagnostic methodology report. *Ocul Surf* 2017;15:539-74.
- [378] Bron AJ, de Paiva CS, Chauhan SK, Bonini S, Gabison EE, Jain S, et al. TPOS DEWS II pathophysiology report. *Ocul Surf* 2017;15:438-510.
- [379] Fenga C, Aragona P, Di Nola C, Spinella R. Comparison of ocular surface disease index and tear osmolarity as markers of ocular surface dysfunction in video terminal display workers. *Am J Ophthalmol* 2014;158. 41-8.e2.
- [380] Choi D, Kyung G, Nam K, Park S. Effects of display curvature, presbyopia, and task duration on visual fatigue, task performance, and user satisfaction. *Hum Factors* 2019;61:273-87.
- [381] Tauste A, Ronda E, Baste V, Bråttveit M, Moen BE, Seguí Crespo M-d-M. Ocular surface and tear film status among contact lens wearers and non-wearers who use VDT at work: comparing three different lens types. *Int Arch Occup Environ Health* 2018;91:327-35.
- [382] Benitez-Del-Castillo J, Labetoulle M, Baudouin C, Rolando M, Akova YA, Aragona P, et al. Visual acuity and quality of life in dry eye disease: proceedings of the OCEAN group meeting. *Ocul Surf* 2017;15:169-78.
- [383] Ridder WH, Tomlinson A, Huang J-F, Li J. Impaired visual performance in patients with dry eye. *Ocul Surf* 2011;9:42-55.
- [384] Benito A, Pérez GM, Mirabet S, Vilaseca M, Pujol J, Marín JM, et al. Objective optical assessment of tear-film quality dynamics in normal and mildly symptomatic dry eyes. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1481-7.
- [385] Auffret E, Mielcarek M, Bourcier T, Delhommeais A, Speeg-Schatz C, Sauer A. Digital eye strain. Functional symptoms and binocular balance analysis in intensive digital users. *J Fr Ophthalmol* 2022;45:438-45.
- [386] Watten RG, Lie I, Birketvedt O. The influence of long-term visual near-work on accommodation and vergence: a field study. *J Hum Ergol* 1994;23:27-39.
- [387] Yeow P, Taylor S. Effects of short-term VDT usage on visual functions. *Optom Vis Sci: Off Publ Am Acad Optomet* 1989;66:459-66.
- [388] Rosenfield M. Computer vision syndrome: a review of ocular causes and potential treatments. *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2011;31:502-15.
- [389] Nahar NK, Sheedy JE, Hayes J, Tai YC. Objective measurements of lower-level visual stress. *Optom Vis Sci* 2007;84:620-9.
- [390] Cole BL, Maddocks JD, Sharpe K. Effect of VDUs on the eyes: report of a 6-year epidemiological study. *Optom Vis Sci* 1996;73:512-28.

- [391] Colenbrander A. The historical evolution of visual acuity measurement. 2008. p. 57-66.
- [392] Lakshminarayanan V. Visual acuity. 2012. p. 93-9.
- [393] Yeow P, Taylor S. Effects of long-term visual display terminal usage on visual functions. *Optom Vis Sci: Off Publ Am Acad Optomet* 1991;68:930-41.
- [394] Sánchez-Brau M, Domenech-Amigot B, Brocal-Fernández F, Seguí-Crespo M. Computer vision syndrome in presbyopic digital device workers and progressive lens design. *Ophthalmic Physiol Opt* 2021;41:922-31.
- [395] Butzon SP, Sheedy JR, Nilsen E. The efficacy of computer glasses in reduction of computer worker symptoms. *Optometry* 2002;73:221-30.
- [396] Horgen G, Aarås A, Thoresen M. Will visual discomfort among Visual Display Unit (VDU) users change in development when moving from single vision lenses to specially designed VDU progressive lenses? *Optom Vis Sci* 2004;81:341-9.
- [397] Wallin JA, Zhu Z, Jacobsen JL, Jacobsen SD. A preliminary study of the effects of computer glasses on reported VDT user symptoms: a field study. *J Saf Res* 1994; 25:67-76.
- [398] Heas P, Verbeek JH, Tikka C. Optical correction of refractive error for preventing and treating eye symptoms in computer users. *Cochrane Database Syst Rev* 2018; 4:CD009877.
- [399] Charman WN. The Charles F. Prentice Award Lecture 2005: optics of the human eye: progress and problems. *Optom Vis Sci: Off Publ Am Acad Optomet* 2006;83: 335-45.
- [400] Shahidi M, Yang Y. Measurements of ocular aberrations and light scatter in healthy subjects. *Optom Vis Sci* 2004;81:853-7.
- [401] Zhao J, Xiao F, Zhao H, Dai Y, Zhang Y. Effect of higher-order aberrations and intraocular scatter on contrast sensitivity measured with a single instrument. *Biomed Opt Express* 2017;8:2138-47.
- [402] Pelll DG, Bex P. Measuring contrast sensitivity. *Vis Res* 2013;90:10-4.
- [403] Ridder WH, Zhang Y, Huang JF. Evaluation of reading speed and contrast sensitivity in dry eye disease. *Optom Vis Sci* 2013;90:37-44.
- [404] Puell Martín MC, Benítez-del-Castillo JM, Martínez-de-la-Casa J, Sánchez-Ramos C, Vico E, Pérez-Carrasco MJ, et al. Contrast sensitivity and disability glare in patients with dry eye. *Acta Ophthalmologica Scandinavica* 2006;84:527-31.
- [405] Koh S, Maeda N, Ikeda C, Asonuma S, Ogawa M, Hiraoka T, et al. The effect of ocular surface regularity on contrast sensitivity and straylight in dry eye. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2017;58:2647-51.
- [406] Szczołka-Flynn LB, Maguire MG, Ying GS, Lin MC, Bunya VY, Dana R, et al. Impact of dry eye on visual acuity and contrast sensitivity: dry eye assessment and management study. *Optom Vis Sci* 2019;96:387-96.
- [407] Mansfield J, Ahn S, Legge G, Luebker A. A new reading-acuity chart for normal and low vision. 1993. p. 232-5.
- [408] Radner W, Willinger U, Obermayer W, Mudrich C, Velikay-Parel M, Eisenwort B. A new reading chart for simultaneous determination of reading vision and reading speed. *Klin Monbl Augenheilkd* 1998;213:174-81.
- [409] Radner W. Standardization of reading charts: a review of recent developments. *Optom Vis Sci* 2019;96:768-79.
- [410] Rubin GS. Measuring reading performance. *Vis Res* 2013;90:43-51.
- [411] Trauzettel-Klosinski S, Dietz K. Standardized assessment of reading performance: the new international reading speed texts IReST. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:5452-61.
- [412] Gleni A, Kriktakis E, Tsilimbaris MK, Simos P, Trauzettel-Klosinski S, Plainis S. Assessing variability in reading performance with the new Greek standardized reading speed texts (IReST). *Optom Vis Sci* 2019;96:761-7.
- [413] Trauzettel-Klosinski S, Dieling C, Pietsch B. The influence of visual field defects and other clinical parameters on reading performance: a retrospective study in a low vision population. *Vis Impair Res* 2003;5:83-100.
- [414] Ramulu PY, Swenor BK, Jefferys JL, Friedman DS, Rubin GS. Difficulty with out-look and silent reading in glaucoma. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2013;54: 666-72.
- [415] Kaltenecker K, Kuester S, Altpeter-Ott E, Eschweiler GW, Cordey A, Ivanov IV, et al. Effects of home reading training on reading and quality of life in AMD—a randomized and controlled study. *Graefes Arch Clin Exper Ophthalmol* 2019; 257:1499-512.
- [416] Glimne S, Brautaset RL, Selmyr GÖ. The effect of glare on eye movements when reading. *Work* 2015;50:213-20.
- [417] Mangione CM, Berry S, Spritzer K, Janz NK, Klein R, Owsley C, et al. Identifying the content area for the 51-item national eye institute visual function questionnaire. *Arch Ophthalmol* 1998;116:227-33.
- [418] Yamrouni R, Evans EJV. Is reading rate in digital eyestrain influenced by binocular and accommodative anomalies? *J Optomet* 2021;14:229-39.
- [419] Montegut MJ, Bridgeman B, Sykes J. High refresh rate and oculomotor adaptation facilitate reading from video displays. *Spatial Vis* 1997;10:305-22.
- [420] Garcia KD, Wierwille WW. Effect of glare on performance of a VDT reading-comprehension task. *Hum Factors* 1985;27:163-73.
- [421] de Boer JB, Schreuder DA. Glare as a criterion for quality in street lighting. *Light Res Technol* 1967;32:117-35.
- [422] Garden D, Plainis S, Murray LJ, Plainis S, Garden D. The ocular stress monitor: a new device for measuring discomfort glare. *Light Res Technol* 2002;34:231-42.
- [423] Berman SM, Bullimore MA, Jacobs RJ, Bailey IL, Gandhi N. An objective measure of discomfort glare. *J Illum Eng Soc* 1994;23:40-9.
- [424] Berman SM, Greenhouse DS, Bailey IL, Clear RD, Raasch TW. Human electroretinogram responses to video displays, fluorescent lighting, and other high frequency sources. *Optom Vis Sci* 1991;68:645-62.
- [425] Mork R, Bruenesh JR, Thorud HMS. Effect of direct glare on orbicularis oculi and trapezius during computer reading. *Optom Vis Sci* 2016;93:738-49.
- [426] Goodwin PE. Evaluation of methodology for evaluating lighting for offices with VDUs. *J Illum Eng Soc* 1987;16:39-51.
- [427] Collier JD, Rosenfield M. Accommodation and convergence during sustained computer work. *Optometry* 2011;82:434-40.
- [428] Gurevich R, Elizabeth Wickware O, Marc Lay O. Computer vision syndrome: accommodative & vergence facility. *J Behav Optom* 2010;21:119.
- [429] Gray L, Gilmartin B, Winn B. Accommodation microfluctuations and pupil size during sustained viewing of visual display terminals. *Ophthalmic Physiol Opt* 2000;20:5-10.
- [430] Nishiyama K. Ergonomic aspects of the health and safety of VDT work in Japan: a review. *Ergonomics* 1990;33:659-85.
- [431] Tsuchiya K, Ukai K, Ishikawa S. A quasistatic study of pupil and accommodation after-effects following near vision. *Ophthalmic Physiol Opt* 1989;9:385-91.
- [432] Saito S, Sotoyama M, Saito S, Taptagaporn S. Physiological indices of visual fatigue due to VDT operation: pupillary reflexes and accommodative responses. *Ind Health* 1994;32:57-66.
- [433] Gratton I, Piccoli B, Zaniboni A, Meroni M, Grieco A. Change in visual function and viewing distance during work with VDUs. *Ergonomics* 1990;33:1433-41.
- [434] Gur S, Ron S, Heicklen-Klein A. Objective evaluation of visual fatigue in VDU workers. *Occup Med* 1994;44:201-4.
- [435] Penisten DK, Goss DA, Philpott G, Pham A, West RW. Comparisons of dynamic retinoscopy measurements with a print card, a video display terminal, and a PRIO® system tester as test targets. *Optomet-J Am Optomet Assoc* 2004;75: 231-40.
- [436] Hue JE, Rosenfield M, Saá G. Reading from electronic devices versus hardcopy text. *Work* 2014;47:303-7.
- [437] Ishikawa S. Examination of the near triad in VDU operators. *Ergonomics* 1990;33: 787-98.
- [438] Mihelčič M, Podlesek A. The influence of proprioception on reading performance. *Clin Exp Optom* 2017;100:138-43.
- [439] Park M, Ahn YJ, Kim SJ, You J, Park KE, Kim SR. Changes in accommodative function of young adults in their twenties following smartphone use. *J Kor Ophthalmol Opt Soc* 2014;19:253-60.
- [440] Ha N-R, Kim C-J, Jung SA, Choi EJ, Kim HJ. Comparison of accommodative system according to the material and font size of near visual media. *J Kor Ophthalmol Opt Soc* 2014;19:217-24.
- [441] Tyler CW. Analysis of visual modulation sensitivity III Meridional variations in peripheral flicker sensitivity. *J Opt Soc Am* 1987;4:1612-9.
- [442] Hecht S, Shlaer S. Intermittent stimulation by light: V. the relation between intensity and critical frequency for different parts of the spectrum. *J Gen Physiol* 1936;19:965-77.
- [443] Hartmann E, Lachenmayr B, Brettel H. The peripheral critical flicker frequency. *Vis Res* 1979;19:1019-23.
- [444] Lin JB, Gerratt BW, Bassi GJ, Apte RS. Short-wavelength light-blocking eyeglasses attenuate symptoms of eye fatigue. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2017;58:442-7.
- [445] Shen IH, Shieh KK, Chao CY, Lee DS. Lighting, font style, and polarity on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays. *Displays* 2009;30: 53-8.
- [446] Kang YY, Wang MJ, Lin R. Usability evaluation of E-books. 2009. p. 49-52.
- [447] Ide T, Toda I, Miki E, Tsubota K. Effect of blue light-reducing eye glasses on critical flicker frequency. *Asia-Pacific J Ophthalmol* 2015;4:80-5.
- [448] Lee DS, Ko YH, Shen IH, Chao CY. Effect of light source, ambient illumination, character size and interline spacing on visual performance and visual fatigue with electronic paper displays. *Displays* 2011;32:1-7.
- [449] Maeda E, Yoshikawa T, Hayashi N, Akai H, Hanaoka S, Sasaki H, et al. Radiology reading-caused fatigue and measurement of eye strain with critical flicker fusion frequency. *Jpn J Radiol* 2011;29:483-7.
- [450] Kennedy A, Murray WS. The effects of flicker on eye movement control. *Quart J Exper Psychol Sect A* 1991;43:79-99.
- [451] Luberto F, Gobba F, Brogna A. Temporary myopia and subjective symptoms in video display terminal operators. *Med Lavore* 1989;80:155-63.
- [452] Mutti DO, Zadnik K. Is computer use a risk factor for myopia? *J Am Optom Assoc* 1996;67:521-30.
- [453] Ip JM, Saw S-M, Rose KA, Morgan IG, Kifley A, Wang JJ, et al. Role of near work in myopia: findings in a sample of Australian school children. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:2903-10.
- [454] Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Jones LA, Zadnik K. Parental myopia, near work, school achievement, and children's refractive error. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:3633-40.
- [455] Qian DJ, Zhong H, Li J, Niu Z, Yuan Y, Pan CW. Myopia among school students in rural China (Yunnan). *Ophthalmic Physiol Opt* 2016;36:381-7.
- [456] Rose KA, Morgan IG, Ip J, Kifley A, Huynh S, Smith W, et al. Outdoor activity reduces the prevalence of myopia in children. *Ophthalmology* 2008;115: 1279-85.
- [457] Saw S-M, Chua W-H, Hong C-Y, Wu H-M, Chan W-Y, Chia K-S, et al. Nearwork in early-onset myopia. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:332-9.
- [458] Saw SM, Shankar A, Tan SB, Taylor H, Tan DT, Stone RA, et al. A cohort study of incident myopia in Singaporean children. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2006;47: 1839-44.
- [459] Jones LA, Sinnott LT, Mutti DO, Mitchell GL, Moeschberger ML, Zadnik K. Parental history of myopia, sports and outdoor activities, and future myopia. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2007;48:3524-32.
- [460] He M, Xiang F, Zeng Y, Mai J, Chen Q, Zhang J, et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: a randomized clinical trial. *JAMA* 2015;314:1142-8.



- and a highly adjustable chair on visual symptoms in a public sector organization. *Appl Ergon* 2012;43:625-31.
- [522] Menendez CC, Amick 3rd BC, Robertson M, Bazzani L, DeRango K, Rooney T, et al. A replicated field intervention study evaluating the impact of a highly adjustable chair and office ergonomics training on visual symptoms. *Appl Ergon* 2012;43:639-44.
- [523] Miyake-Kashima M, Dogru M, Nojima T, Murase M, Matsumoto Y, Tsubota K. The effect of antireflection film use on blink rate and asthenopic symptoms during visual display terminal work. *Cornea* 2005;24:567-70.
- [524] Chlasta-Twardzik E, Gorecka-Niton A, Nowinska A, Wylegala E. The influence of work environment factors on the ocular surface in a one-year follow-up prospective clinical study. *Diagnostics* 2021;11. Article 392.
- [525] Hirayama M, Murat D, Liu Y, Kojima T, Kawakita T, Tsubota K. Efficacy of a novel moist cool air device in office workers with dry eye disease. *Acta Ophthalmol* 2013;91:756-62.
- [526] Wang MTM, Chan E, Ba L, Kam C, Lu Y, Misra SL, et al. Randomized trial of desktop humidifier for dry eye relief in computer users. *Optom Vis Sci : Off Publ Am Acad Optomet* 2017;94:1052-7.
- [527] Ren Y, Chen J, Zheng Q, Chen W. Short-term effect of a developed warming moist chamber goggles for video display terminal-associated dry eye. *BMC Ophthalmol* 2018;18:33.
- [528] Bilku P, Wolffsohn J, Parslow C. Provocation of the ocular surface to investigate the evaporative pathophysiology of dry eye disease. *Contact Lens Anterior Eye* 2021;44:24-9.
- [529] Sun CC, Lee CY, Hwang YS, Michihito I, Tagami K, Hsiao CH. Effect of warming eyelids on tear film stability and quality of life in visual display terminal users: a randomized controlled trial. *Sci Rep* 2020;10. Article 16919.
- [530] Yee RW, Sperling HG, Kattak A, Paukert MT, Dawson K, Garcia M, et al. Isolation of the ocular surface to treat dysfunctional tear syndrome associated with computer use. *Ocul Surf* 2007;5:308-15.
- [531] Marshav V, Bolloch J, Pallamin N, de Bougrenet de la Tocnaye JL, Cochener B, Nourrit V. Impact of virtual reality headset use on eye blinking and lipid layer thickness. *J Fr Ophthalmol* 2021;44:1029-37.
- [532] Daum KM, Good G, Tijerina L. Symptoms in video display terminal operators and the presence of small refractive errors. *J Am Optom Assoc* 1988;59:691-7.
- [533] Rosenfield M, Hue JE, Huang RR, Bababekova Y. The effects of induced oblique astigmatism on symptoms and reading performance while viewing a computer screen. *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2012;32:142-8.
- [534] Rosner M, Belkin M. Video display units and visual function. *Surv Ophthalmol* 1989;33:515-22.
- [535] Sheedy JE. Vision problems at video display terminals: a survey of optometrists. *J Am Optom Assoc* 1992;63:687-92.
- [536] Wiggins N, Daum K, Snyder C. Effects of residual astigmatism in contact lens wear on visual discomfort in VDT use. *J Am Optom Assoc* 1992;63:177-81.
- [537] Wiggins N, Daum K. Visual discomfort and astigmatic refractive errors in VDT use. *J Am Optom Assoc* 1991;62:680-4.
- [538] Mylona I, Flores GD. Correction of presbyopia alone does not adequately protect against digital eye strain from handheld devices. *Optom Vis Sci : Off Publ Am Acad Optomet* 2022;99:758-62.
- [539] Noell WK, Walker VS, Kang BS, Berman S. Retinal damage by light in rats. *Invest Ophthalmol* 1966;5:450-73.
- [540] Ham Jr WT, Mueller HA, Ruffolo Jr JJ, Guerry 3rd D, Guerry RK. Action spectrum for retinal injury from near-ultraviolet radiation in the albino monkey. *Am J Ophthalmol* 1982;93:299-306.
- [541] Davies S, Elliott MH, Floor E, Truscott TG, Zareba M, Sarna T, et al. Photocytotoxicity of lipofuscin in human retinal pigment epithelial cells. *Free Radic Biol Med* 2001;31:256-65.
- [542] Sparrow JR, Miller AS, Zhou J. Blue light-absorbing intraocular lens and retinal pigment epithelium protection in vitro. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:873-8.
- [543] O'Hagan JB, Khazova M, Price LL. Low-energy light bulbs, computers, tablets and the blue light hazard. *Eye* 2016;30:230-3.
- [544] Downie LE, Busija L, Keller PR. Blue-light filtering intraocular lenses (IOLs) for protecting macular health. *Cochrane Database Syst Rev* 2018;5:Cd011977.
- [545] Downie LE, Wormald R, Evans J, Virgili G, Keller PR, Lawrenson JG, et al. Analysis of a systematic review about blue light-filtering intraocular lenses for retinal protection: understanding the limitations of the evidence. *JAMA Ophthalmol* 2019;137:694-7.
- [546] Singh S, Anderson AJ, Downie LE. Insights into Australian optometrists' knowledge and attitude towards prescribing blue light-blocking ophthalmic devices. *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2019;39:194-204.
- [547] Downie LE. Blue-light filtering ophthalmic lenses: to prescribe, or not to prescribe? *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2017;37:640-3.
- [548] Singh S, McGuinness MB, Anderson AJ, Downie LE. Interventions for the management of computer vision syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2022;129:1192-215.
- [549] Dabrowiecki A, Villalobos A, Krupinski EA. Impact of blue light filtering glasses on computer vision syndrome in radiology residents: a pilot study. *J Med Imag* 2020;7:022402.
- [550] Cheng H-M, Chen S-T, Hsiang-Jui L, Cheng C-Y. Does blue light filter improve computer vision syndrome in patients with dry eye? *Life Sci J* 2014;11:612-5.
- [551] Kaido M, Toda I, Oobayashi T, Kawashima M, Katada Y, Tsubota K. Reducing short-wavelength blue light in dry eye patients with unstable tear film improves performance on tests of visual acuity. *PLoS One* 2016;11:e0152936.
- [552] Alionis ACPI, Netto AI, Lui TAF, Alves MR. Digital asthenopia: blue-blocking lenses and +0.40D additional power in the near zone, for eye strain, accommodation and convergence functions X1 - astenopia digital: avaliação de lentes com filtro de luz azul e poder adicional de +0.40D na zona de perto, para fadiga visual e nas funções de convergência e acomodação. *Rev Bras Oftalmol* 2022;81:e0054-.
- [553] Sánchez-González MC, Madroño M, García-Romera MC, Silva-Viguera MD, Conejero-Domínguez JJ, Gargallo-Martínez B, et al. Effect of blue light filters on tear and contrast sensitivity in individuals using electronic devices. *Eye Contact Lens* 2021;47:642-6.
- [554] Redondo B, Vera J, Ortega-Sánchez A, Molina R, Jimenez R. Effects of a blue-blocking screen filter on accommodative accuracy and visual discomfort. *Ophthalmic Physiol Opt : J Br Coll Ophthal Optic (Optometrists)* 2020;40:790-800.
- [555] Vera J, Redondo B, Ortega-Sánchez A, Molina-Molina A, Molina R, Rosenfield M, et al. Blue-blocking filters do not alleviate signs and symptoms of digital eye strain. *Clin Exp Optom* 2022;1-6.
- [556] Palavets T, Rosenfield M. Blue-blocking filters and digital eyestrain. *Optom Vis Sci : Off Publ Am Acad Optomet* 2019;96:48-54.
- [557] Suttle CM, Lawrenson JG, Conway ML. Efficacy of coloured overlays and lenses for treating reading difficulty: an overview of systematic reviews. *Clin Exp Optom* 2018;101:514-20.
- [558] Gringras P, Middleton B, Skene DJ, Revell VL. Bigger, brighter, bluer-better? Current light-emitting devices - adverse sleep properties and preventative strategies. *Front Public Health* 2015;3. Article 233.
- [559] Ayaki M, Hattori A, Maruyama Y, Tsubota K, Negishi K. Large-scale integration in tablet screens for blue-light reduction with optimized color: the effects on sleep, sleepiness, and ocular parameters. *Cogent Biol* 2017;3:1294550.
- [560] Pucker AD, Ng SM, Nichols J. Over the counter (OTC) artificial tear drops for dry eye syndrome. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;2:Cd009729.
- [561] Acosta MC, Gallar J, Belmonte C. The influence of eye solutions on blinking and ocular comfort at rest and during work at video display terminals. *Exp Eye Res* 1999;68:663-9.
- [562] Guillon M, Maisin C, Pouliquen P, Delval L. Effect of povidone 2% preservative-free eyedrops on contact lens wearers with computer visual syndrome: pilot study. *Eye Contact Lens* 2004;30:34-9.
- [563] Calvão-Santos G, Borges C, Nunes S, Salgado-Borges J, Duarte L. Efficacy of 3 different artificial tears for the treatment of dry eye in frequent computer users and/or contact lens users. *Eur J Ophthalmol* 2011;21:538-44.
- [564] Downie LE, Bandlitz S, Bergmanns JPG, Craig JP, Durta D, Maldonado-Codina C, et al. Clear - anatomy and physiology of the anterior eye. *Contact Lens Anterior Eye* 2021;44:132-56.
- [565] Shimazaki J, Seika D, Saga M, Fukagawa K, Sakata M, Iwasaki M, et al. A prospective, randomized trial of two mucin secretagogues for the treatment of dry eye syndrome in office workers. *Sci Rep* 2017;7:15210.
- [566] Utsunomiya T, Kawahara A, Hanada K, Yoshida A. Effects of diquafosol ophthalmic solution on quality of life as assessed using the Dry Eye-Related Quality-of-Life Score questionnaire: effectiveness in patients while reading and using visual display terminals. *Cornea* 2017;36:908-14.
- [567] Turnbull PRK, Misra SL, Craig JP. Comparison of treatment effect across varying severities of meibomian gland dropout. *Contact Lens Anterior Eye* 2018;41:88-92.
- [568] Deinema LA, Vingrys AJ, Wong CY, Jackson DC, Chinnery HR, Downie LE. A randomized, double-masked, placebo-controlled clinical trial of two forms of omega-3 supplements for treating dry eye disease. *Ophthalmology* 2017;124:43-52.
- [569] Britten-Jones AC, Kamel JT, Roberts LJ, Braat S, Craig JP, MacIsaac RJ, et al. Investigating the neuroprotective effect of oral omega-3 fatty acid supplementation in type 1 diabetes (nPROOF1): a randomized placebo-controlled trial. *Diabetes* 2021;70:1794-806.
- [570] Downie LE, Ng SM, Lindsley KB, Alpek EK. Omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids for dry eye disease. *Cochrane Database Syst Rev* 2019;12:Cd011016.
- [571] Markouli M, Arcot J, Ahmad S, Arita R, Benitez-del-Castillo J, Caffery B, et al. TPOS Lifestyle: impact of nutrition on the ocular surface. *Ocul Surf* 2023. In press.
- [572] Bhargava R, Kumar P, Arora Y. Short-term omega 3 fatty acids treatment for dry eye in young and middle-aged visual display terminal users. *Eye Contact Lens* 2016;42:231-6.
- [573] Bhargava R, Kumar P, Phogat H, Kaur A, Kumar M. Oral omega-3 fatty acids treatment in computer vision syndrome related dry eye. *Contact Lens Anterior Eye* 2015;38:206-10.
- [574] Liang T, Yamashita SI, Suzuki N, Nakata A, Yang J, Yamada T. Effect of a bilberry extract (BILBERON®)-containing diet on the improvement of eye fatigue-related symptoms (II) - a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group comparison study. *Jpn Pharmacol Ther* 2017;45:1523-34.
- [575] Okamoto K, Muneoka M, Ishii I, Najima M. A study for evaluating the effect of bilberry extract supplement on eye conditions and functions - a randomized, placebo-controlled, double-blind study. *Jpn Pharmacol Ther* 2018;46:869-81.
- [576] Okamoto K, Kushima M, Ishii I, Yamada T. Impacts of the Intake of a Dietary supplement containing bilberry extract on improving eye functions and conditions caused by visual display terminal load - a randomized, double-blind, parallel-group, placebo-controlled study. *Jpn Pharmacol Ther* 2019;47:503-15.
- [577] Park CY, Gu N, Lim CY, Oh JH, Chang M, Kim M, et al. The effect of Vaccinium uliginosum extract on tablet computer-induced asthenopia: randomized placebo-controlled study. *BMC Compl Alternative Med* 2016;16. Article 296.

- [578] Yamashita SI, Suzuki N, Yamamoto K, Iio SI, Yamada T. Effects of MaquiBright® on improving eye dryness and fatigue in humans: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Tradit Complement Med* 2019;9:172-8.
- [579] Sekikawa T, Kinawa Y, Takeoka A, Sakiyama T, Li Y, Yamada T. The effect of consuming an anthocyanin-containing supplement derived from Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) on eye function: a Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Parallel Study. *Funct Foods Health Dis* 2021;11:116-46.
- [580] Kosehira M, Machida N, Kitaichi N. A 12-week-long intake of bilberry extract (*Vaccinium myrtillus* L.) improved objective findings of ciliary muscle contraction of the eye: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group comparison trial. *Nutrients* 2020;12. Article 600.
- [581] Nagaki Y, Hayasaka S, Yamada T, Hayasaka Y, Sanada M, Uonomi T. Effects of astaxanthin on accommodation, critical flicker fusion, and pattern visual evoked potential in visual display terminal workers. *J Tradit Med* 2002;19:170-3.
- [582] Stringham JM, Stringham NT, O'Brien KJ. Macular carotenoid supplementation improves visual performance, sleep quality, and adverse physical symptoms in those with high screen time exposure. *Foods* 2017;6. Article 47.
- [583] Kawabata F, Tsuji T. Effects of dietary supplementation with a combination of fish oil, bilberry extract, and lutein on subjective symptoms of asthenopia in humans. *Biomed Res* 2011;32:387-93.
- [584] Kondo S, Sawano Y. Effects of a dietary supplement containing water chestnut extract and lutein on quantified VDT workload - affected visual function in healthy middle-aged adults - a randomized. 46. In: double-masked, placebo-controlled, parallel-group intervention study; 2018. p. 325-36.
- [585] Yagi A, Fujimoto K, Michihiro K, Goh B, Tai D, Nagai H. The effect of lutein supplementation on visual fatigue: a psychophysiological analysis. *Appl Ergon* 2009;40:1047-54.
- [586] Kinawa Y, Sekikawa T, Kageyama M, Tomobe H, Kobashi R, Yamada T. Effects of anthocyanin, astaxanthin, and lutein on eye functions: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Clin Biochem Nutr* 2021;69:77-90.
- [587] Kan J, Wang M, Liu Y, Liu H, Chen L, Zhang X, et al. A novel botanical formula improves eye fatigue and dry eye: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Am J Clin Nutr* 2020;112:334-42.
- [588] Viswesvarajah NK, Telles S. Randomized trial of yoga as a complementary therapy for pulmonary tuberculosis. *Respirology* 2004;9:96-101.
- [589] Telles S, Naveen KV. Effect of yoga on somatic indicators of distress in professional computer users. *Med Sci Mon Int Med J Exp Clin Res : Int Med J Exper Clin Res* 2006;12:LE21-L22.
- [590] Gangamma MP, Poonam Rajagopala M. A clinical study on "Computer vision syndrome" and its management with Triphala eye drops and Saptamrita Lauha. *Ayu* 2010;31:236-9.
- [591] Biswas NR, Nainiwal SK, Das GK, Langan U, Dadeya SC, Mongre PK, et al. Comparative randomized controlled clinical trial of a herbal eye drop with artificial tear and placebo in computer vision syndrome. *J Indian Med Assoc* 2003;101:208-9. 12.
- [592] Chatterjee PK, Bairagi D, Roy S, Majumder NK, Paul R, Bagchi S. Comparative randomized active drug controlled clinical trial of a herbal eye drop in computer vision syndrome. *J Indian Med Assoc* 2005;103:397-8.
- [593] Dhiman KS, Ahuja DK, Sharma SK. Clinical efficacy of Ayurvedic management in computer vision syndrome: a pilot study. *Ayu* 2012;33:391-5.
- [594] Joshi N, Ujwale R. A clinical study of the effect of tila taila padabhyanga on eye strain. *Int J Res Ayurveda Pharm* 2016;7:29-35.
- [595] Sawant D, Parlikar G, Binorkar S. Efficacy of triphala ghrita netratarpan in computer vision syndrome. *Int J Res Ayurveda Pharm* 2013;4:244-8.
- [596] Wan X, Wang W, Liu J, Tong T. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, median, range and/or interquartile range. *BMC Med Res Methodol* 2014;14. Article 135.
- [597] Sterne JAC, Savović J, Page MJ, Elbers RG, Blencowe NS, Boutron I, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomized trials. *BMJ* 2019;366:1498-.
- [598] Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, Kunz R, Falck-Ytter Y, Alonso-Coello P, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ* 2008;336:924.
- [599] Higgins J, Thomas J. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. 3 ed. The Cochrane Collaboration; 2022., Version 6.
- [600] Da Costa BR, Nüesch E, Rutjes AW, Johnston BC, Reichenbach S, Trelle S, et al. Combining follow-up and change data is valid in meta-analyses of continuous outcomes: a meta-epidemiological study. *J Clin Epidemiol* 2013;66:847-55.
- [601] Chatterjee PK, Bairagi D, Roy S, Majumder NK, Paul RC, Bagchi SC. Comparative randomized active drug controlled clinical trial of a herbal eye drop in computer vision syndrome. *J Indian Med Assoc* 2005;103:397-8.
- [602] Kawashima M, Tsuno S, Matsumoto M, Tsubota K. Hydrogen-producing milk to prevent reduction in tear stability in persons using visual display terminals. *Ocul Surf* 2019;17:714-21.
- [603] Morita Y, Jounai K, Miyake M, Inaba M, Kanauchi O. Effect of heat-killed *Lactobacillus paracasei* KW3110 ingestion on ocular disorders caused by visual display terminal (VDT) loads: a randomized, double-blind, placebo-controlled parallel-group study. *Nutrients* 2018;10. Article 1058.
- [604] Rajendraprasad R, Kwatra G, Batra N. Carboxymethyl cellulose versus hydroxypropyl methylcellulose tear substitutes for dry eye due to computer vision syndrome: comparison of efficacy and safety. *Int J Appl Basic Med Res* 2021;11:4-8.
- [605] Skilling PC, Weaver TA, Kato KP, Ford JG, Dussia EM. Effects of two eye drop products on computer users with subjective ocular discomfort. *Optometry* 2005;76:47-54.
- [606] Zheng Y, Wang W, Zhong Y, Wu F, Zhu Z, Tham YC, et al. A peer-to-peer live-streaming intervention for children during COVID-19 homeschooling to promote physical activity and reduce anxiety and eye strain: cluster randomized controlled trial. *J Med Internet Res* 2021;23. e24316-e.
- [607] Lertwittatipaiboon S, Pampaibool T, Neeser KJ, Kasetsuwan N. Effectiveness of a participatory eye care program in reducing eye strain among staff computer users in Thailand. *Risk Manag Healthc Pol* 2017;10:71-80.
- [608] Mou Y, Shen X, Yuan K, Wang X, Fan F, Wu Y, et al. Comparison of the influence of light between circularly polarized and linearly polarized smartphones on dry eye symptoms and asthenopia. *Clin Transl Sci* 2022;15:994-1002.
- [609] Dogru M, Kojima T, Simsek C, Tsubota K. Potential role of oxidative stress in ocular surface inflammation and dry eye disease. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2018;59:DES163-D168.
- [610] Shimizu E, Yasu H, Aketa N, Yokoira R, Sato S, Katayama T, et al. Smart eye camera: a validation study for evaluating the tear film breakup time in human subjects. *Transl Vis Sci Technol* 2021;10:28.
- [611] Atta S, Omar M, Kaleem SZ, Waxman EL. The use of mobile messaging for telecommunications with patients in ophthalmology: a systematic review. *Telemedicine and e-Health*; 2021.
- [612] Clay V, König P, Koenig S. Eye tracking in virtual reality. *J Eye Movem Res* 2019;12. <https://doi.org/10.16910/jemr.12.1.3>.
- [613] Noman M, Bin T, Ahmad M, Rahman A. Mobile-based eye-blink detection performance analysis on android platform. *Front ICT* 2018;5. Article 4.
- [614] Han S, Yang S, Kim J, Oerla M. EyeGuardian: a framework of eye tracking and blink detection for mobile device users. *Proceedings of the Twelfth Workshop on Mobile Computing Systems & Applications*. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2162081.2162090> 2012. p. 1-6.
- [615] Martin J, Reid J, Thompson D, Jaskulski M, Lopez-Gil N. Continuous remote monitoring device-eye distance and ambient light in children. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2020;61:567 [Abstract].
- [616] Legerton J, Segre L, Marsh J. Reality check: protecting ocular health from headset hazards. *Rev Optom* 2018;155:52-9.
- [617] Wang Z, He R, Chen K. Thermal comfort and virtual reality headsets. *Appl Ergon* 2020;95:103066.