

Trabajo Fin de Grado

Caracterización espectrofotométrica de lentes de contacto y de lentes oftálmicas

Autor/es

Raúl Martín Catalán

Director/es

Justiniano Aporta Alfonso

Ana Isabel Sánchez Cano

Facultad de Ciencias / Óptica y optometría

2018

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ILUMINANTES Y FUENTES DE LUZ	1
1.2	RITMOS CIRCADIANOS Y LUZ AZUL	1
1.3	DAÑOS FOTOQUÍMICOS DE LA LUZ AZUL	2
1.4	CURVAS DE SENSIBILIDAD ESPECTRAL	2
1.5	RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....	4
1.6	TRANSMISIÓN DE LENTES OFTÁLMICAS EN ESPECTRO VISIBLE Y ULTRAVIOLETA	5
2	HIPÓTESIS	6
3	OBJETIVOS	6
4	MATERIAL Y MÉTODOS	6
4.1	FUENTES DE ILUMINACIÓN	6
4.2	ESPECTROFOTÓMETROS	8
4.3	LENTE OFTÁLMICA.....	8
4.4	LENTE DE CONTACTO	9
5	ANÁLISIS DE DATOS	10
6	RESULTADOS	11
6.1	LENTE OFTÁLMICA: VISIBLE	11
6.2	LENTE DE CONTACTO: VISIBLE	15
6.3	LENTE OFTÁLMICA: ULTRAVIOLETA	17
6.4	LENTE DE CONTACTO: ULTRAVIOLETA	18
7	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
8	CONCLUSIONES	20
9	BIBLIOGRAFÍA	21

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ILUMINANTES Y FUENTES DE LUZ

Se define a un iluminante como la especificación de una fuente de luz potencial, teórica, que suele expresarse en términos de la energía relativa tabulada para cada longitud de onda.¹

Los iluminantes se utilizan para la estandarización de las caracterizaciones en las industrias en las que el color es importante en sus procesos productivos.²

En cambio, las fuentes de luz (lámparas), son emisores físicos de radiación luminosa que, en algunas ocasiones, tienen curvas de distribución espectral similares, pero no idénticas a los iluminantes y se suelen denominar como ellos.

1.2 RITMOS CIRCADIANOS Y LUZ AZUL

Aunque la luz LED utilizada para todo tipo de tareas cotidianas aparece blanca, presenta un pico de emisión en el rango de las longitudes de onda cortas (400-490 nm), por eso se la conoce a este tipo de luz principalmente como luz azul.

Existen teorías que afirman la incidencia en los ritmos circadianos por parte de la luz azul³. Dichas hipótesis se basan en:

- El conocimiento de un circuito entre la retina y la glándula pineal, que segrega una hormona llamada melatonina. Esta relación es inversa: la luz azul bloquea la liberación de melatonina, y la ausencia de luz azul produce un aumento de su liberación.
- Pruebas que relacionan la melatonina con el ritmo circadiano sueño/vigilia.
- Durante el día, la luz azul bloquea la liberación de melatonina. Esto ocurriría en mayor medida en las fuentes de iluminación con gran componente azul.
- Ese mayor bloqueo de la melatonina por la luz azul antes de dormir influiría negativamente para dormir.

Algunos autores se postulan muy críticos⁴ y presentan limitaciones ante dichas hipótesis:

- Existen estudios que podrían indicar que la glándula pineal no conecta únicamente con fibras provenientes de la retina por lo que en la secreción de melatonina intervendrían diferentes estructuras.
- Faltan estudios que indiquen una relación causa-efecto entre la melatonina y el ciclo sueño/vigilia

- Aun resultando ciertos los dos primeros puntos de la hipótesis, no se ha aceptado totalmente que el bloqueo de la melatonina antes de dormir influya negativamente en el sueño.

1.3 DAÑOS FOTOQUÍMICOS DE LA LUZ AZUL

La luz azul puede provocar efectos dañinos que se producen cuando un fotosensibilizante absorbe energía de una longitud de onda determinada, poniendo en marcha una serie de reacciones químicas intracelulares. Los bastones, los conos y las células del epitelio pigmentario de la retina (EPR) tienen muchos fotorpigmentos y por lo tanto, son sensibles a los daños fotoquímicos.

Algunos estudios indican que la luz azul puede provocar daños en primates.^{5,6} Una exposición continuada a la luz azul, puede llevar a cabo la activación del all-trans-retinal acumulado en los segmentos externos de los fotorreceptores y producir especies reactivas al oxígeno (ROS).⁷

Las especies ROS atacan a diversas moléculas, incluyendo los ácidos grasos poliinsaturados, un componente importante de las membranas celulares. La gran concentración de membranas celulares en la retina la hace extremadamente sensible al estrés oxidativo. En particular, este estrés puede alterar las estructuras membranosas de los segmentos externos del fotorreceptor, provocando una fagocitosis y digestión incompleta de los segmentos externos del fotorreceptor en el EPR. La consecuencia es una acumulación de lipofuscina de residuos en los gránulos de las células EPR.⁸

La lipofuscina, conocida también como “el pigmento de la edad”, se acumula en el ojo con la edad y se desarrolla con mayor rapidez en algunas enfermedades retinales. Compuesta de lípidos, proteínas y una serie de cromóforos, la lipofuscina es muy susceptible a los cambios fotoquímicos que pueden producir daños celulares permanentes. La acumulación de lipofuscina se ha asociado a la patogénesis de la DMAE, y una intensa autofluorescencia de lipofuscina se puede observar con frecuencia en las regiones que rodean los bordes de lesiones de atrofia geográfica en la retina.⁸

1.4 CURVAS DE SENSIBILIDAD ESPECTRAL

Curva de eficiencia luminosa para visión fotópica

En 1924, la CIE estandarizó internacionalmente la función de eficiencia luminosa espectral (*spectral luminous efficiency function*) para la visión fotópica (indicada con $V(\lambda)$).⁹

El comportamiento de la respuesta espectral del ojo humano es el resultado de un proceso de evolución de su comportamiento como sistema biológico, dicho sistema se conforma por las células retinianas responsables de tratar la información visual (fotorreceptores y células ganglionares, bipolares, horizontales y amacrinas). Este sistema resenta un alto grado de adaptación al entorno.

En fotometría, se usa esta función para evaluar una radiación, dando mayor importancia a los componentes centrales del espectro visible y menos a las longitudes de onda que se encuentran en los extremos, del mismo modo que actúa el sistema de visión del ser humano. El resultado es una valoración de las radiaciones no en términos de su potencia total sino en términos de su capacidad para estimular el ojo humano.

El observador cuya sensibilidad luminosa espectral coincide con la curva $V(\lambda)$ se llama observador fotométrico fotópico estándar CIE (*CIE standard photopic photometric observer*).¹⁰

En la Figura 2 se describe la sensibilidad luminosa espectral del observador fotométrico estándar definido por la CIE.

Curva de sensibilidad espectral melanópica

Como se comenta anteriormente, la luz es uno de los estímulos que regulan el ritmo circadiano. Dicho ritmo, está influenciado por fotorreceptores en el ojo que contienen melanopsina, se tratan de células ganglionares retinianas fotosensibles (ipRGC). Tomando como base la respuesta de dichas células se obtiene una curva de sensibilidad espectral melanópica $C(\lambda)$ (Figura 2) que nos permite conocer qué longitudes de onda estimulan en mayor medida estos fotorreceptores, y por lo tanto, pueden afectar más a la regulación del ritmo circadiano y a la aparición de diferentes alteraciones.¹¹

Curva de sensibilidad espectral de la luz azul

Muchos de los dispositivos electrónicos que utilizamos en la actualidad se iluminan mediante LEDs con fuerte irradiancia en la zona de las longitudes de onda relacionadas con los azules. Dicha luz presenta grandes ventajas respecto a otras fuentes de iluminación pero también, según algunas investigaciones recientes, la exposición prolongada a la emisión en la zona azul del espectro de los LEDs puede acarrear un efecto negativo en la salud visual.^{12,13} Como consecuencia, se ha investigado acerca de la sensibilidad del ojo humano ante este tipo de iluminación que puede presentar una componente espectral importante en longitudes de onda cortas. El espectro de la denominada "luz azul o blue hazard" viene definido en la norma UNE-EN 62471 sobre seguridad fotobiológica.¹⁴

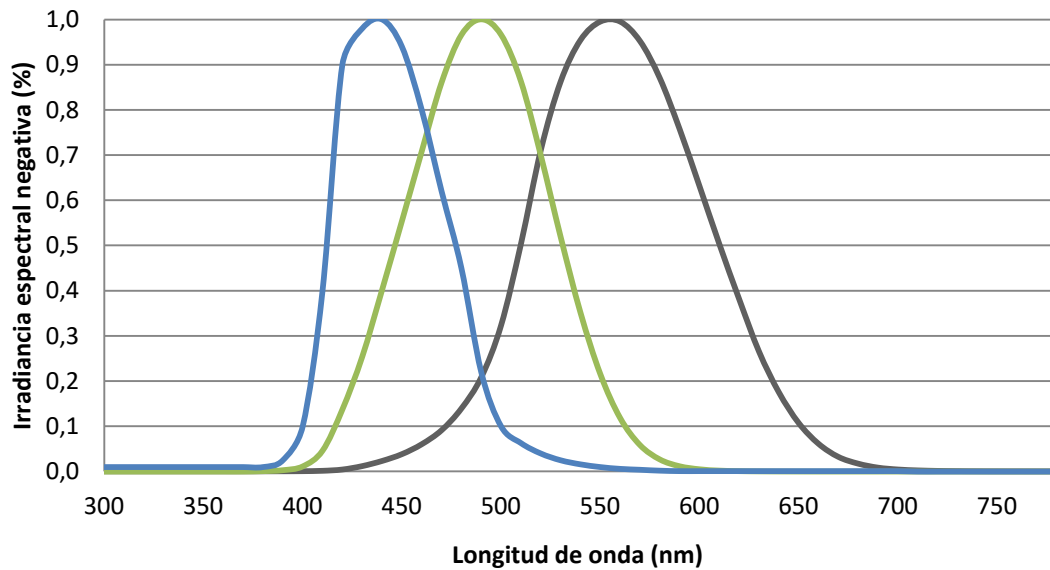


Figura 1 Diagrama de las curvas espectrales de eficiencia luminosa para la visión fotópica ($V(\lambda)$), de sensibilidad a la melatonina ($C(\lambda)$) y de sensibilidad a la luz azul ($B(\lambda)$).

1.5 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

Aunque la anatomía ocular tiene capacidad para defenderse de radiaciones nocivas, como es la ultravioleta (UV), es inevitable que una pequeña parte de la radiación llegue a la retina, que es la parte más sensible del ojo y una prolongación del sistema nervioso central. Por ello, es de suma importancia la protección de los ojos de la radiación UV.

The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (I.C.N.I.R.P)¹⁵ clasifica, o divide el espectro UV, según el daño fotobiológico que pueda causar, en:

- UVA: donde se encuentran las radiaciones de entre 315-400nm
- UVB: donde se encuentran las radiaciones de entre 280-315nm
- UVC: donde se encuentran las radiaciones de entre 200-280nm

Radiación UVA

Es la menos fotobiológicamente activa. No obstante, la cantidad de radiación UVA es mayor que la de UVB y UVC, puede resultar peligrosa para exposiciones prolongadas.

Radiación UVB

La radiación UVB es parcialmente absorbida por la capa llamada estratosfera de la atmósfera terrestre, donde se encuentra la mayor cantidad de ozono y solo llega a la superficie terrestre un porcentaje mínimo. Pese a este mínimo porcentaje puede producir daños en la piel y en los ojos.

Radiación UVC

La radiación UVC es también absorbida por la capa de Ozono. Incluso con los desajustes actuales en la capa de ozono, presenta pequeños porcentajes irrelevantes de radiación en la superficie terrestre.

1.6 TRANSMISIÓN DE LENTES OFTÁLMICAS EN ESPECTRO VISIBLE Y ULTRAVIOLETA

Las lentes oftálmicas para gafas deben clasificarse como pertenecientes a una de las cinco categorías especificadas en la Tabla 1, en función de la tinción o de la transmitancia luminosa.

En función de la categoría a la que pertenezca cada lente, deben cumplir los requisitos UV correspondientes a su transmitancia luminosa especificadas en la Tabla 1, las lentes no tintadas que pertenecen a la categoría 0 están excluidas de los requisitos UV de la Tabla1.¹⁶

		Rango espectral visible		Rango espectral ultravioleta	
		Rango de transmitancia luminosa (τ_v)		Máximo valor de transmitancia solar UV-A	Máximo valor de transmitancia solar UV-B
Descripción tintado	Categoría transmitancia luminosa	De más %	a %	>315 nm a 380nm UV-A	>280nm a 315 nm UV-B
Tintado claro o muy ligero	0	80,0	100	τ_v	0,05 τ_v
Tintado ligero	1	43,0	80,0	τ_v	0,05 τ_v
Tintado medio	2	18,0	43,0	0,5 τ_v	1,0% absoluto o 0,05 τ_v , lo que sea mayor
Tintado oscuro	3	8,0	18,0	0,5 τ_v	1,0% absoluto
Tintado muy oscuro	4	3,0	8,0	1,0% absoluto o 0,25 τ_v , lo que sea mayor	1,0% absoluto

Tabla 1: Categorías por transmitancia luminosa y los correspondientes rangos permisibles de transmitancia en el ultravioleta solar.

2 HIPÓTESIS

Las lentes oftálmicas y las lentes de contacto (LC) cumplen una serie de requisitos y normativas para ser comercializadas. En el rango UV-VISIBLE, la transmitancia total fotópica con iluminante CIE D65, UVB y UVA de las muestras quedan tabuladas y clasificadas, no así comportamiento con fuentes de luz reales.

En los últimos años, con el desarrollo de los LEDs, ha cobrado mayor importancia el estudio de la seguridad fotobiológica de las lámparas y de la influencia de este tipo de luz en la cronobiología de los humanos. En este sentido, es necesario cuantificar la influencia del uso de lentes junto con el tipo de iluminación a nivel retiniano para poder valorar los efectos no-visuales en los seres vivos.

3 OBJETIVOS

Los objetivos de este Trabajo Fin de Grado son:

- Caracterizar espectralmente un conjunto de lentes oftálmicas y lentes de contacto que existen en el mercado en el rango 380nm-780nm.
- Comprobar la transmisión de este tipo de lentes en el rango UVB y UVA.
- Determinar la transmitancia fotópica, melanópica y en luz azul de un conjunto de lentes para el iluminante teórico CIE D65 y para tres tipos de iluminación artificial utilizados hoy de forma cotidiana.

4 MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 FUENTES DE ILUMINACIÓN

En este trabajo, se utiliza la curva de distribución espectral de dos iluminantes (D65 y A) y de dos fuentes de luz LED.

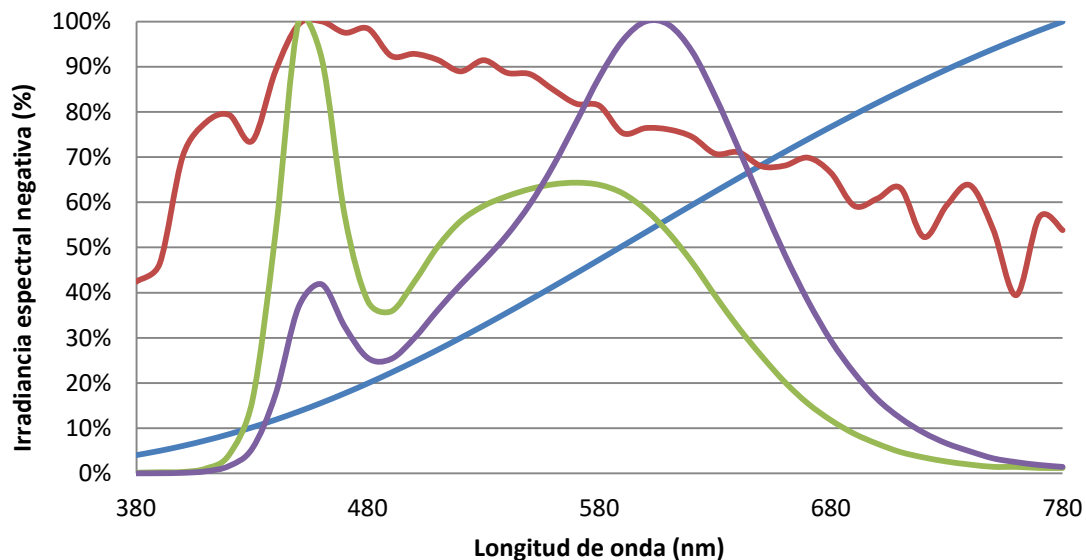


Figura 2 Curva de distribución espectral de los iluminantes A y D65 y de las fuentes de luz LED (3000K y 6000K).

Las características de los iluminantes se dan en función de la temperatura de color correlacionada (CCT) y del índice de reproducción cromático (IRC).

ILUMINANTE D65

Tc o CCT: 6.327 K; IRC: 92,7

Según los datos reflejados, los valores de Irradiancia relativa del iluminante D65 varían bastante a lo largo de las diferentes longitudes de onda. Los valores más bajos están en la zona de las longitudes de onda bajas (380nm) y en las altas (750-780nm).

ILUMINANTE A

Tc o CCT: 2.777 K; IRC: 99,1

Se observa que en la zona de las longitudes de onda cortas (correspondientes a colores violetas y azules) hay unos valores bajos de Irradiancia, que aumentan progresivamente hacia longitudes de onda altas.

LED 6000K

Tc o CCT: 5.997 K; IRC: 81,6

Se observa que el valor máximo de irradiancia se encuentra en 450nm (correspondiente con los azules) y se observan valores altos entre 500nm y 600nm (corresponde con amarillos y naranjas).

LED 3000K

Tc o CCT: 3.000 K; IRC: 80

En cuanto a la fuente de iluminación LED3000K, los valores más altos del espectro se encuentran en torno a los 600nm (correspondiente con los naranjas). También se puede observar un pico de irradiancia en 450nm (azul).

4.2 ESPECTROFOTÓMETROS

Las medidas espectrofotométricas en el rango 380nm a 780nm se han realizado con un espectrofotómetro modular, de fabricación propia, que consta de fuente de luz halógena, monocromador Digikröm CM110 (Spectral Products, Putnam, CT, USA), fibra óptica con haz colimado a un diámetro de 4mm para las lentes oftálmicas o a 3mm en el caso de la cubeta, en la que se colocaba la lente de contacto en solución salina. Para tomar la medida, se utilizó un detector de Si y para comunicarse con el espectrofotómetro y realizar las medidas, se usó un programa propio en Visual Basic (National Instruments, Austin, Texas, USA). La instalación, previo a tomar las medidas, se calibró en longitud de onda con un filtro de óxido de holmio (Hellma GmbH&Co.KG, Müllheim, Germany) y con filtros neutros NDQ de densidad óptica 0.50 y 0.30 (CVI Laser Optics, Albuquerque, NM, USA). En las medidas en el rango UV, desde 280nm a 380nm, se utilizó como fuente de iluminación una lámpara de Deuterio y se midió la transmitancia espectral de todas las muestras con un espectrorradiómetro AvaSpec-1024 (Avantes, Apeldoorn, The Netherlands). En todos los casos, la referencia en la medida se realizó sin lente oftálmica y en el caso de las lentes de contacto, con cubeta llena de solución salina.

4.3 LENTES OFTÁLMICAS

Para la realización de este estudio se utilizan 30 lentes oftálmicas fundamentalmente de material orgánico. Se han medido lentes de diferentes fabricantes y características: filtros de baja visión, lentes de sol tintadas y lentes blancas con diferentes potencias (Tabla 2).

Nº LENTE	MATERIAL	FABRICANTE	COLORACIÓN	POTENCIA	FILTRO
1	Orgánico	Zeiss	Verde suave	0	-
2	Orgánico	Zeiss	Gris	0	-
3	Orgánico	Zeiss	Verde	0	-
4	Orgánico	Zeiss	Verde suave	0	-
5	Organico	Zeiss	Verde medio	0	-
6	Organico	Zeiss	Verde intenso	0	-
7	Orgánico	Zeiss	Marrón claro	0	-
8	Orgánico	Zeiss	Marrón medio	0	-
9	Orgánico	Zeiss	Rosa claro	0	-
10	Orgánico	Zeiss	Marrón medio-intenso	0	-

11	Orgánico	Zeiss	Azul intenso	0	-
12	Orgánico	Zeiss	Verde suave	0	-
13	Orgánico	Zeiss	Gris claro	0	-
14	Orgánico	Zeiss	Gris medio	0	-
15	Organico	Zeiss	Marrón intenso	0	-
16	Orgánico	Essilor	Amarillo-naranja	0	Lumior 1
17	Orgánico	Essilor	Marrón-rojo	0	RT 4
18	Orgánico	Essilor	Naranja	0	Lumior Orange
19	Orgánico	Essilor	Amarillo	0	Lumior Soleil
20	Orgánico	Desconocido	Azul	-1,75	-
21	Orgánico	Desconocido	Naranja	-1,00	SI
22	Orgánico	Desconocido	Amarillo	0	SI
23	Orgánico	Desconocido	Amarillo suave	0	SI
24	Mineral	Desconocido	No	-0,75	-
25	Mineral	Indo	No	-0,25	-
26	Orgánico	Indo	No	+0,75	-
27	Mineral	Prats	No	+1,50	-
28	Orgánico	Prats	No	+0,75	-
29	Orgánico	Prats	No	+0,75	-
30	Orgánico	Hoya	No	+1,25	-

Tabla 2 Lentes oftálmicas utilizadas.

4.4 LENTES DE CONTACTO

Para la realización de este estudio se utilizan 13 lentes de contacto. Las LC utilizadas presentan diversos materiales. Fundamentalmente se encuentran lentes de hidrogel convencional e hidrogel de silicona. Presentan diferentes potencias y fabricantes (Tabla 3).

Nº LC	LC	MATERIAL	FABRICANTE	FILTRO UV	TIPO	POTENCIA
1	MyVision®	Omafilcon A	CooperVision	No	Hidrogel	-1,50 D
2	SofLens@38®	Polymacon	Bausch and Lomb	No	Hidrogel convencional	-0,75 D
3	AcuvueMoist®	Etafilcon A	Johnson and Johnson	Si	Hidrogel convencional	-1,50 D
4	Purevision®	Balafilcon A	Bausch and Lomb	No	Hidrogel silicona	-1,25D
5	Extreme®	Hioxifilcon D	Hydrogel Vision	No	Hidrogel convencional	-4,50 D

6	MyVisionMax®	Enfilcon A	CooperVision	Si	Hidrogel silicona	-1,00 D
7	Proclear®	Omafilcon A + Fosforilcolina	CooperVision	No	Hidrogel	-1,00 (multifocal)
8	Biomedics73®	Surfilcon A	CooperVision	Si	Hidrogel convencional	+0,75 (multifocal)
9	AirOptix®	Hilafilcon B	Bausch and lomb	No	Hidrogel convencional	+2,75
10	SofLens@59®	Lotrafilcon B	CIBA Vision	No	Hidrogel convencional	-1,00 (multifocal)
11	Clear55A®	Methafilcon A	ClearLab	No	Hidrogel convencional	-4,50 D
12	Lens55®	Silocona + Fosforilcolina	Servilens	No	Hidrogel silicona	-2,75 D
13	O ₂ Optix®	Lotrafilcon A	CIBA Vision	No	Hidrogel convencional	-2,75D

Tabla 3 Lentes de contacto utilizadas.

5 ANÁLISIS DE DATOS

La transmitancia fotópica, melanópica, de la luz azul, solar UVA y solar UVB de cada una de las lentes oftálmicas y de contacto se calcula con la distribución espectral de las cuatro fuentes de iluminación y para las tres funciones de eficiencia luminosa espectral diferentes.

Transmitancia (fotópica, melanópica y luz azul): Cociente entre el flujo luminoso transmitido por la lente y el flujo luminoso incidente.

$$tv = 100x \frac{\int_{380}^{780} t(\lambda) G(\lambda) S(\lambda) d(\lambda)}{\int_{380}^{780} G(\lambda) S(\lambda) d(\lambda)} \%$$

donde $G(\lambda)$ es la función de la curva de sensibilidad espectral $V(\lambda)$, $C(\lambda)$ o $B(\lambda)$; $t(\lambda)$ es la transmitancia espectral de las lentes; $S(\lambda)$ es la función de distribución espectral de radiación del iluminante.¹⁶

Transmitancia solar UVA: Media de la transmitancia espectral entre 315nm y 380nm ponderada por la distribución de la radiación solar $E(\lambda)$ al nivel del mar, para una masa de aire 2, y la función de eficiencia relativa espectral para la radiación UV $S(\lambda)$.

$$t_{UVA} = 100x \frac{\int_{315}^{380} t(\lambda) E(\lambda) S(\lambda) d(\lambda)}{\int_{315}^{380} E(\lambda) S(\lambda) d(\lambda)} \%$$

Transmitancia solar UVB: Media de la transmitancia espectral entre 280nm y 315nm ponderada por la distribución de la radiación solar $E(\lambda)$ al nivel del mar, para una masa de aire 2, y la función de eficiencia relativa espectral para la radiación UV $S(\lambda)$.

$$t_{UVB} = 100x \frac{\int_{280}^{315} t(\lambda) E(\lambda) S(\lambda) d(\lambda)}{\int_{280}^{315} E(\lambda) S(\lambda) d(\lambda)} \%$$

6 RESULTADOS

6.1 LENTES OFTÁLMICAS: VISIBLE

En la Tabla 4 se observa la transmitancia total (%) de 30 lentes para 3 curvas de sensibilidad espectral y para 4 iluminantes.

	FOTÓPICA				MELANÓPICA				LUZ AZUL			
	A	D65	LED 1	LED 2	A	D65	LED 1	LED 2	A	D65	LED 1	LED 2
1	84,07	83,98	83,93	83,97	83,67	83,45	83,43	83,62	82,40	82,01	82,59	82,79
2	43,45	43,85	43,76	43,35	45,67	45,96	45,85	45,69	45,58	45,12	46,03	46,20
3	34,02	34,98	34,47	33,33	35,05	32,09	30,83	33,57	20,51	17,43	18,92	21,31
4	82,17	82,20	82,12	82,00	81,11	79,89	79,61	80,69	74,90	73,38	75,01	76,00
5	65,51	66,00	65,67	65,07	65,32	62,89	62,03	64,26	52,75	49,83	52,19	54,32
6	14,85	15,74	15,26	14,20	17,00	15,23	14,31	15,96	8,32	6,52	6,98	8,39
7	84,01	83,64	83,66	83,97	82,36	81,99	81,93	82,27	80,62	80,13	80,66	80,95
8	62,99	61,82	61,96	62,92	57,97	57,31	57,21	57,85	55,70	55,17	55,17	55,67
9	88,22	87,53	87,58	88,28	86,47	86,75	86,86	86,63	87,52	87,56	87,89	87,76
10	35,86	34,17	34,28	35,66	29,23	28,44	28,26	29,05	26,52	25,73	25,86	26,44
11	12,18	12,49	12,43	12,08	13,67	13,82	13,75	13,68	13,44	13,07	13,74	13,89
12	78,15	78,31	78,31	78,09	77,40	76,37	76,16	77,08	72,15	70,86	72,32	73,15
13	71,87	72,02	71,99	71,82	72,44	72,32	72,28	72,40	71,16	70,61	71,56	71,81
14	66,88	67,02	66,79	66,54	67,85	67,66	67,41	67,64	66,42	65,94	66,15	66,50
15	16,73	15,60	15,55	16,37	12,47	11,85	11,64	12,27	10,18	9,48	9,55	10,06
16	62,59	57,45	58,40	62,84	33,51	26,48	25,69	31,57	9,74	6,07	6,13	9,05
17	5,09	3,57	3,39	4,69	1,09	1,04	0,98	1,08	0,97	0,71	0,70	0,87
18	55,08	47,21	48,04	55,64	23,89	19,64	18,79	22,63	8,87	5,94	6,23	8,57
19	74,51	69,27	70,88	75,11	39,99	31,92	31,87	38,46	14,38	10,58	11,08	14,14
20	21,91	24,38	23,56	21,34	35,64	37,60	37,36	35,81	39,94	40,19	41,04	40,74

21	52,33	44,31	46,42	53,43	13,09	8,73	9,61	13,18	3,08	1,57	1,65	2,78
22	96,50	93,59	94,20	96,64	72,25	62,20	59,91	68,72	31,98	24,85	26,93	32,80
23	90,74	89,45	89,64	90,72	81,04	76,97	76,28	79,81	63,01	59,00	62,57	65,28
24	90,90	90,50	90,60	90,90	89,00	88,50	88,50	88,90	86,90	86,40	87,00	87,30
25	93,68	93,68	93,70	93,71	93,50	93,40	93,37	93,45	93,23	93,26	93,11	93,12
26	95,60	95,58	95,61	95,64	95,02	94,65	94,65	98,00	93,19	92,74	93,46	93,69
27	99,63	99,63	99,67	99,67	98,56	97,51	98,00	98,66	91,12	88,55	94,53	95,38
28	90,50	90,00	90,10	90,50	88,60	88,10	88,50	88,70	85,60	84,10	87,70	87,90
29	96,90	90,70	96,70	96,90	95,80	95,40	95,30	95,70	93,60	92,90	93,90	94,20
30	98,20	97,80	97,90	98,30	96,00	95,60	95,60	95,90	94,50	94,10	94,40	94,60

Tabla 4 Transmitancia(%) de las lentes oftálmicas en el espectro visible para 4 iluminantes y 3 curvas de sensibilidad espectral.; LED 1= 3000K. LED2=6000K.

En la tabla 4, se puede observar como existen diferencias en los datos totales de transmitancia en función de qué tipo de lentes oftálmicas se tratan:

En el caso de las lentes de sol coloreadas (lentes 1 - 15, 20), se distingue como la diferencia de transmitancia entre los diferentes iluminantes no es significativa. Dependiendo del tipo de coloración que presenten, se observa una variación de transmitancia para las diferentes curvas de sensibilidad espectral. Las lentes tintadas con tonos correspondientes a longitudes de onda cortas, presentan mayores transmitancias para las curvas de sensibilidad melanópica y de luz azul.

En cuanto a los filtros (lentes 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23) se observa como varía la transmitancia ligeramente para los 4 iluminantes. Dado que la mayoría de los filtros que se estudian filtran en longitudes de onda cortas, las curvas de sensibilidad melanópica y de luz azul se ven disminuidas.

En cuanto a lentes oftálmicas blancas (lentes 23 - 30), no se encuentran diferencias sustanciales entre las transmitancias para diferentes iluminantes y curvas de sensibilidad.

A continuación, se representan graficamente cada una de las transmitancias medidas en el espectro visible para cada lente oftálmica:

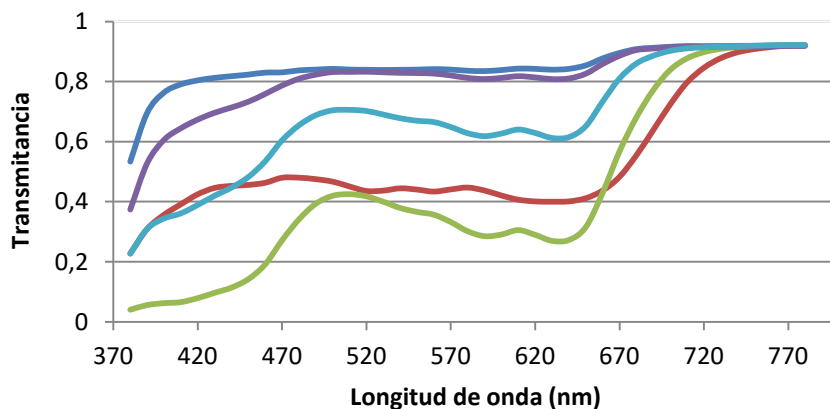


Figura 3 Transmitancia en el espectro visible de las lentes oftámicas 1(azul oscuro), 2(rojo), 3(verde), 4(morado) y 5(gris).

Se observa en la Figura 3 que las lente 1 y 4 presentan una transmisión por encima del 80% para casi todas las longitudes de onda, esto se debe a su coloración débil. Las lentes 3 y 5 presentan una coloración verde (más intensa en la lente 3) que provoca una mayor transmisión en las longitudes de onda asociadas a este color. La lente 4 presenta una coloración gris-azulada por lo que transmite algo más en longitudes de onda asociadas al azul.

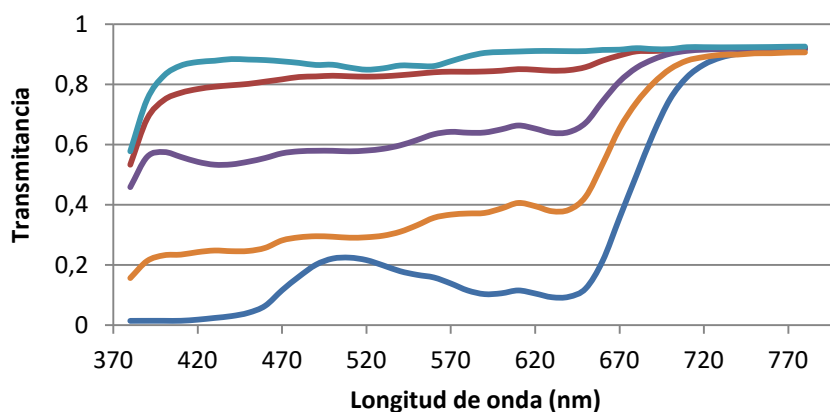


Figura 4 Transmitancia en el espectro visible de las lentes oftámicas 6(azul oscuro), 7(rojo), 8(morado), 9(azul claro) y 10(naranja).

En la Figura 4 se puede apreciar como la lente 6 de coloración verde intensa, tiene una transmitancia baja aunque con un pico en longitudes de onda asociadas al verde. Las lentes 9 y 7 presentan una coloración suave por lo que presentan transmitancias altas. Las lentes 8 y 10 presentan una coloración marrón similar aunque de diferente intensidad (mayor en lente 10), por lo que los picos de la gráfica son iguales para ambas en las diferentes longitudes de onda aunque de distinta transmitancia.

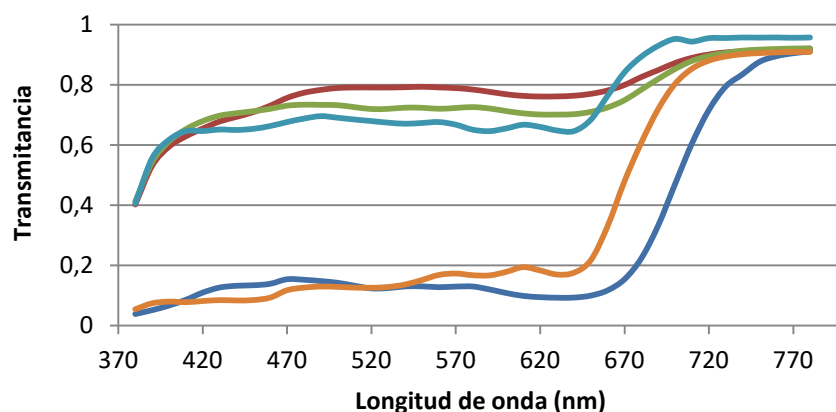


Figura 5 Transmitancia en el espectro visible de las lentes oftámicas 11(azul oscuro), 12(rojo), 13(verde), 14(azul claro) y 15(naranja).

Tanto en la Tabla 4 como en la Figura 5 se puede observar como las lentes 12, 13 y 14 presentan transmitancias entre el 65% y el 80% debido a su coloración de baja-media intensidad. Las lentes 11 y 15 tienen transmitancias muy bajas debido a su coloración intensa.

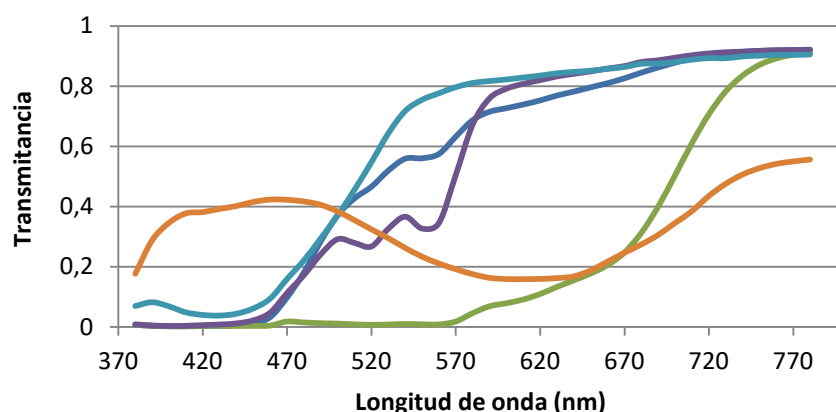


Figura 6 Transmitancia en el espectro visible de las lentes oftámicas 16(azul oscuro), 17(verde), 18(morado), 19(azul claro) y 20(naranja).

En la Figura 6 se observa como la lente 16 (filtro amarillo), transmite poco en las longitudes de onda asociadas al azul. La lente 17 (filtro granate) no transmite hasta 570nm. Se observa que la lente 18 (filtro naranja) presente transmitancias nulas o bajas hasta 590nm (longitud de onda asociada al naranja). La lente 19 (filtro amarillo) presenta transmitancias muy bajas hasta longitudes de onda asociadas al amarillo). La lente 20 presenta una coloración azul de intensidad media que provoca un pico de transmitancia en este color.

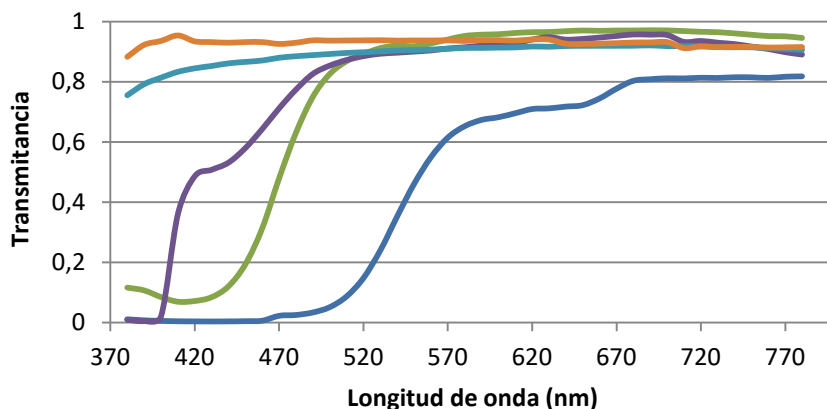


Figura 7 Transmitancia en el espectro visible de las lentes oftámicas 21(azul oscuro), 22(verde), 23(morado), 24(azul claro) y 25(naranja).

En la Figura 7 se observa que la lente 21 (filtro naranja) presente transmitancias nulas o bajas hasta 560nm. En las lentes 22 (filtro amarillo) y 23 (filtro amarillos muy claro) se observa que filtran las longitudes de onda anteriores al amarillo. Las lentes 24 y 25 transmiten por encima del 90% para casi todas las longitudes de onda ya que son lentes neutras.

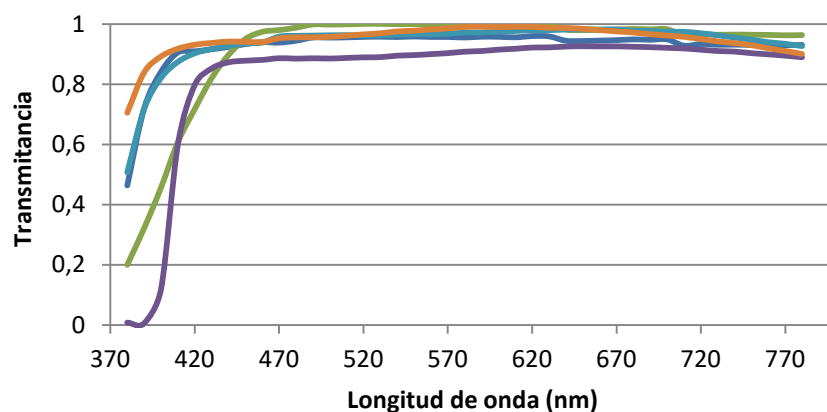


Figura 8 Transmitancia en el espectro visible de las lentes oftámicas 26(azul oscuro), 27(verde), 28(morado), 29(azul claro) y 30(naranja).

En la Figura 8 podemos observar como las lentes 26, 27, 28, 29 y 30 transmiten por encima del 90% para casi todas las longitudes de onda, esto es debido a que las lentes son neutras, es decir, sin ningún tipo de coloración.

6.2 LENTES DE CONTACTO: VISIBLE

En la Tabla 5 se observa la transmitancia de 13 lentes de contacto para las 3 curvas de sensibilidad espectral y para los 4 iluminantes.

	FOTÓPICA				MELANÓPICA				LUZ AZUL			
	A	D65	LED 1	LED 2	A	D65	LED 1	LED 2	A	D65	LED 1	LED 2
1	93,94	94,33	94,21	93,82	95,63	95,71	95,69	95,61	95,61	95,57	95,75	95,74
2	97,93	98,10	98,06	97,91	98,58	98,56	98,50	98,54	98,27	98,18	98,24	98,32
3	92,40	92,58	92,49	92,32	93,08	92,90	92,73	92,94	91,92	91,61	91,75	91,99
4	97,61	97,72	97,70	97,58	97,74	97,51	97,46	97,67	96,37	95,99	96,53	96,75
5	96,38	96,91	96,74	96,21	98,72	98,85	98,80	98,69	98,82	98,80	98,90	98,89
6	95,75	95,83	95,81	95,72	95,59	95,26	95,24	95,51	93,87	93,42	94,08	94,32
7	94,48	94,71	94,61	94,37	95,45	95,39	95,27	95,36	94,80	94,60	94,72	94,89
8	95,08	95,31	95,21	94,97	96,24	96,30	96,26	96,21	96,12	95,99	96,24	96,28
9	95,20	95,66	95,60	95,15	96,77	96,71	96,61	96,69	96,08	95,89	96,05	96,20
10	95,78	96,12	96,01	95,67	97,17	97,09	97,00	97,08	96,37	96,13	96,42	96,56
11	95,94	96,07	96,01	95,89	96,56	96,58	96,54	96,53	96,48	96,45	96,47	96,49
12	96,95	96,77	96,79	96,95	95,91	95,60	95,55	95,82	94,67	94,41	94,59	94,77
13	97,22	97,13	97,14	97,22	96,70	96,53	96,47	96,63	96,00	95,85	95,89	96,01

Tabla 5 Transmitancia(%) de las lentes de contacto en el espectro visible para 4 iluminantes y 3 curvas de sensibilidad espectral; LED 1= 3000K. LED2=6000K.

En la tabla 5, se observa que las lentes de contacto transmiten de manera similar para los diferentes iluminantes y curvas de sensibilidad.

A continuación, se representan graficamente cada una de las transmitancias medidas en el espectro visible para cada lente de contacto.

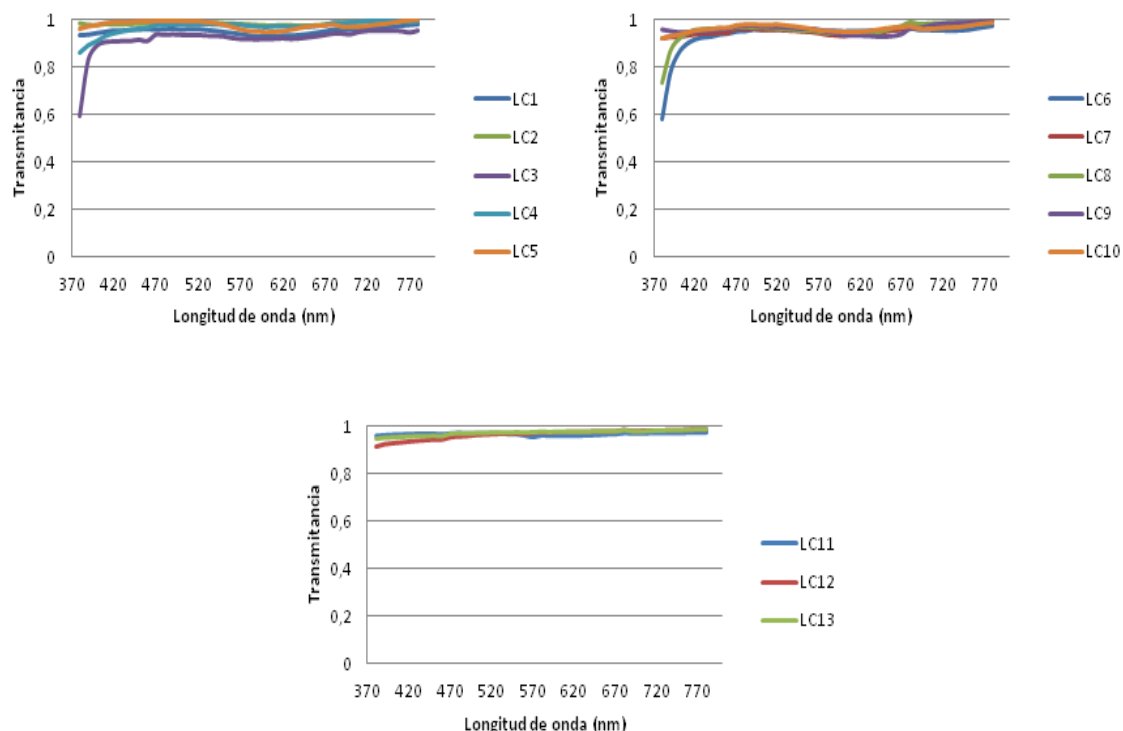


Figura 9 Transmitancia en el espectro visible de las lentes de contacto 1 - 13.

En las Figura 9 se puede observar como todas las lentes de contacto presentan una transmitancia superior al 90% para todas las longitudes de onda del visible.

6.3 LENTES OFTÁLMICAS: ULTRAVIOLETA

En la Tabla 6 se observa la transmitancia de 30 lentes para dos regiones del espectro ultravioleta: UVA (320nm-380nm) y UVB (280nm - 320nm).

Nº LENTE	UVA	UVB	Nº LENTE	UVA	UVB
1	0,78	0,46	16	0,82	0,30
2	1,76	1,12	17	0,52	0,47
3	0,75	0,53	18	1,13	0,51
4	1,22	0,45	19	0,54	0,18
5	1,22	0,52	20	1,10	0,48
6	0,76	0,30	21	0,85	0,51
7	1,77	0,95	22	1,15	0,38
8	1,76	1,33	23	1,15	0,86
9	2,04	1,16	24	5,38	0,62
10	1,04	1,18	25	6,05	0,68
11	0,71	0,33	26	1,54	0,81
12	2,26	1,43	27	1,63	0,63
13	1,14	0,65	28	1,53	0,41
14	1,28	1,10	29	2,00	0,74
15	0,71	0,54	30	2,26	0,96

Tabla 6 Transmitancia(%) de las lentes oftálmicas en el espectro UVA y UVB.

En la Tabla 6, se observa que todas las lentes oftálmicas estudiadas presentan baja transmitancia para la radiación UVA y UVB.

A continuación, se representan graficamente cada una de las transmitancias medidas en función de la longitud de onda en el espectro UV para cada lente oftálmica.

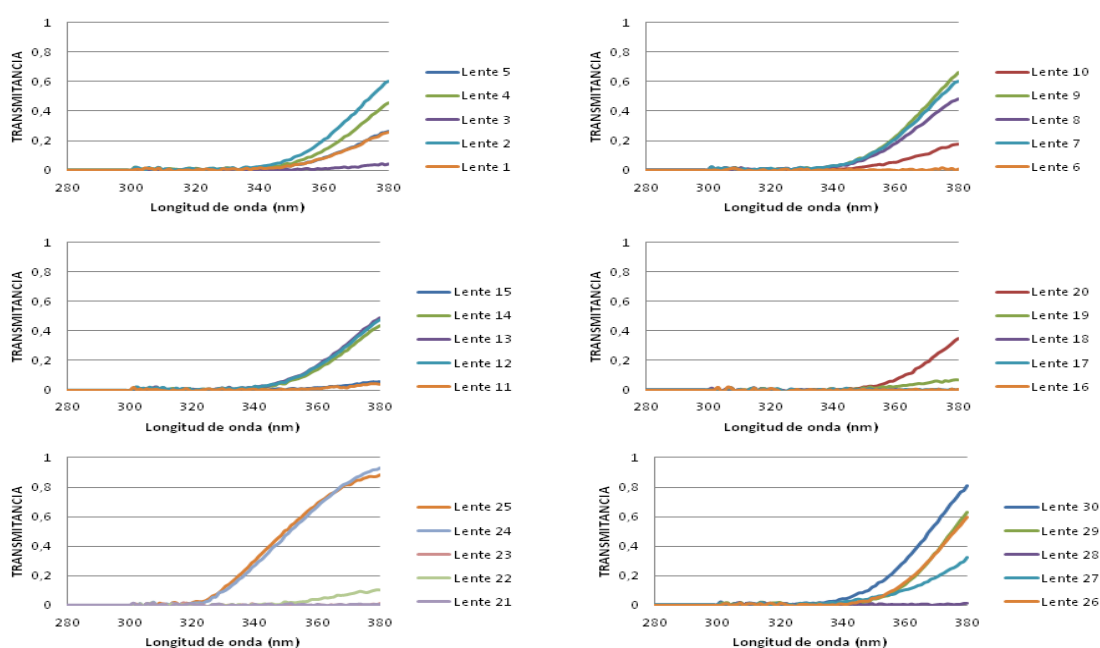


Figura 10 Transmitancia en el espectro ultravioleta de las lentes oftálmicas 1 - 30.

En la Figura 10 se puede observar que las lentes generalmente dejan de transmitir en el espectro UV en torno a los 320nm-360nm, los filtros mayoritariamente cortan la radiación UV por encima de los 380nm.

6.4 LENTES DE CONTACTO: ULTRAVIOLETA

En la Tabla 4 se observa la transmitancia de 13 lentes de contacto para dos regiones del espectro ultravioleta: UVA (320nm - 380nm) y UVB (280nm - 320nm).

Nº LC	UVA	UVB	Nº LC	UVA	UVB
1	82,05	77,49	8	14,39	1,95
2	77,55	72,19	9	73,04	66,40
3	10,24	1,37	10	69,90	67,11
4	43,51	36,79	11	83,81	83,15
5	86,83	83,95	12	88,43	82,83
6	14,18	1,41	13	84,83	83,33
7	76,28	71,93			

Tabla 7 Transmitancia(%) de las lentes de contacto en el espectro UVA y UVB.

En la Tabla 7, se observa una gran diferencia de transmitancia entre las lentes que filtran el UVA y UVB (LC 3, 6 y 8) y las que transmiten mayoritariamente en todo este espectro (LC 1, 2, 5, 7, 9-13). La LC 4 presenta una transmisión disminuida en el espectro UV pero no llega a considerarse como LC filtrante.

A continuación, se representan graficamente cada una de las transmitancias medidas en función de la longitud de onda en el espectro UV para cada LC.

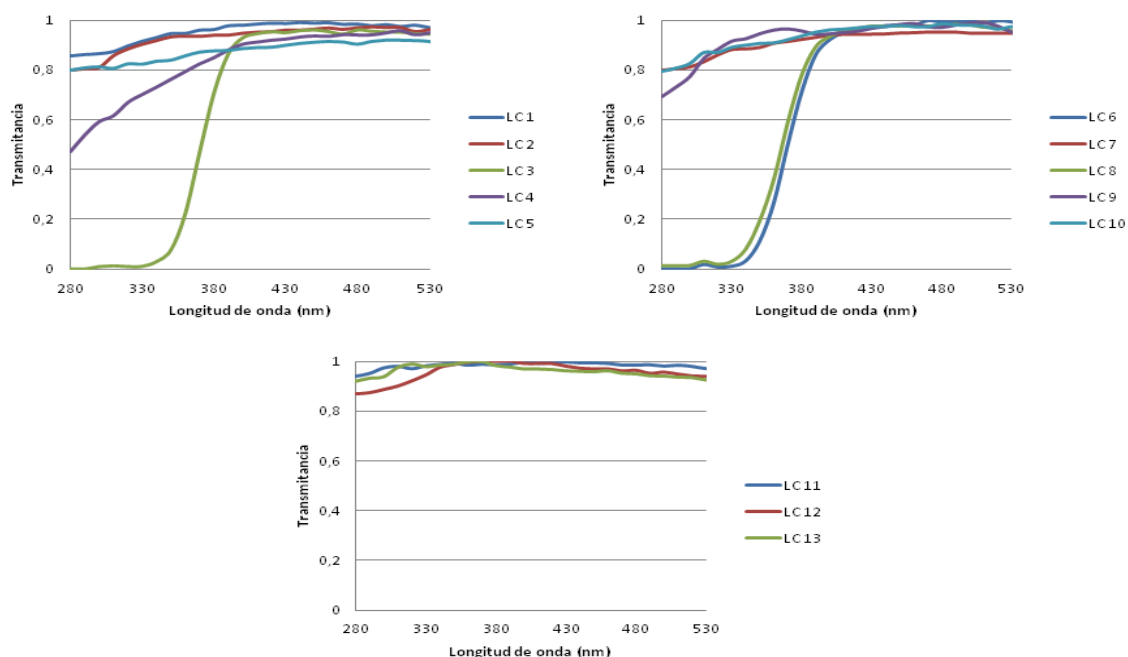


Figura 11 Transmitancia en el espectro ultravioleta de las lentes de contacto 1 - 13.

En la Figura 11, se muestra como las LC filtrantes cortan la radiación UV en torno a los 340nm y no presentan una transmitancia total hasta los 390nm. Las LC no filtrantes transmiten en gran medida en el espectro UV.

7 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medida de transmitancia total para lentes oftálmicas y lentes de contacto mediante luz solar está ampliamente estudiada, sin embargo, las fuentes de luz artificiales usadas en la actualidad emiten un espectro de luz que puede ser diferente al espectro solar.²

En los resultados obtenidos se puede observar como no existen diferencias sustanciales entre las transmitancias totales medidas mediante distintos iluminantes y para lentes oftálmicas blancas, tintadas y lentes de contacto. En el caso de los filtros, existen ligeras diferencias dependiendo de las longitudes de onda que se filtran por la lente y en las que transmite el iluminante.

Como se ha detallado en la introducción, existen teorías de que la luz azul es perjudicial para la retina. Las longitudes de onda más perjudiciales se encuentran en torno a los 440 nm. Las longitudes de onda que afectarían al ritmo circadiano se encuentran fundamentalmente en torno a los 490nm. Esto nos indica que presentan bandas espectrales relativamente distintas. Para que las lentes oftálmicas o lentes de contacto filtren la luz azul y puedan proteger la retina sin producir cambios fisiológicos, es necesario que no reduzcan la transmisión en esta banda espectral cronobiológica.⁸

En la tabla 4, se puede observar un número de lentes (16, 17, 18, 19, 21), en especial filtros de baja visión, que filtran la luz azul y provocan una reducción en la transmisión de la banda espectral relacionada con la producción melanópica. Esto provocaría según numerosas hipótesis, una alteración en los ritmos circadianos³.

Las lentes tintadas con tonos correspondientes a longitudes de onda cortas (11, 20), presentan mayores transmitancias para las curvas de sensibilidad melanópica y de luz azul. Por el contrario, lentes con tonos correspondientes a longitudes de onda más largas (3, 6, 10), filtran parte de la luz azul.

Los efectos nocivos de la radiación UV, se asocian a la obligación, por parte de los fabricantes, de crear lentes oftálmicas y lentes de contacto con buen rendimiento visual que protejan a los ojos de dichos efectos. Generalmente, los fabricantes de lentes oftálmicas y lentes de contacto indican si presentan filtros UV, pero no muestran en detalle las propiedades espectrales del filtro a través de un análisis espectrofotométrico. En este estudio, se realiza un análisis espectrofotométrico de la banda espectral ultravioleta comprendida entre 280nm y 380nm. El límite que separa

la región UV del visible no es exacta, pero internacionalmente, está aceptado que se encuentre en 380nm¹⁶. Todas las lentes oftálmicas medidas, cumplen las características recogidas en la Tabla 1 y por lo tanto, presentan índices de seguridad adecuados en la banda espectral ultravioleta comprendida entre 280nm y 380nm.

De las 13 lentes de contacto medidas en este estudio, 3 de ellas presentan filtro UV: (AcuvueMoist®, MyVisionMax® y Biomedics73®). El filtro UV que incorporan es diferente para cada una de las lentes de contacto pero todas ellas eliminan la mayoría de las radiaciones UV nocivas. La lente de contacto que filtra más las radiaciones UVA y UVB es la AcuvueMoist®, seguida de la MyVisionMax® y Biomedics73®.

Como se muestra en la Tabla 7, la lente de contacto Purevision® no presenta filtro UV, pero muestran una disminución del paso de radiación UV de alrededor del 40%.

Observamos que las lentes AcuvueMoist®, MyVisionMax®, Purevision®, Extreme® y AirOptix® presentan transmitancias similares en el espectro UV a las mostastradas por otros estudios^{17,18,19,20}.

8 CONCLUSIONES

Las conclusiones de este trabajo fin de grado son las siguientes:

- La información espectrofotométrica de las lentes oftálmicas y de las lentes de contacto es importante para un uso adecuado de ellas. independientemente de si se tratn como lentes correctoras, filtros solares o prescriptivas en patologías oculares.
- El conocimiento del comportamiento de las lentes con distintas fuentes de luz ayuda a valorar el nivel de iluminación que podría alcanzar la retina en condiciones fotópicas en situaciones reales de observación.
- A partir de los resultados obtenidos en el cálculo de la transmitancia en la región melanópica podría optimizarse el uso de determinados iluminantes y lentes para regular ciclos circadianos.
- Análogamente, podrían optimizarse para minimizar la luz azul considerada como "blue hazard" y proteger la retina del usuario que los porte.

9 BIBLIOGRAFÍA

1. Wyszecki, G. y Stiles, W.S. "Color science: Concepts and methods, quantitative data and formulae." New York: Wiley, 1982
2. (1971). CIE (Comisión Internacional de la Iluminación). France, Paris.
3. Laxhmi Chellappa, Sarah et al. "Non-Visual Effects of Light on Melatonin, Alertness and Cognitive Performance: Can Blue-Enriched Light Keep Us Alert?" Enero 2011. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016429>
4. Pascual, Rubén. "Luz azul y ritmo circadiano (II)." Ocularis [blog], Logroño, 13 de Septiembre, 2015. Disponible en: <https://ocularis.es>
5. Ham, WT. et al. "Retinal sensitivity to damage from short wavelength light." Nature, 260:153-5, 1976.
6. Zhou, J. Sparrow, JR. "Light filtering in a retinal pigment epithelial cell culture model." Optom Vis Sci, 88:759-65, 2011.
7. Rózanowska, M. Sarna, T. "Light-induced damage to the retina: role of rhodopsin chromophore revisited." Photochem Photobiol, 81(6):1305-30, 2005.
8. Smick, Kirk et al. "Riesgo de la luz azul: nuevos hallazgos y nuevos enfoques para preservar la salud ocular." Points de Vue – International Review of Ophthalmic Optics, edición especial, artículos 2011-2015.
9. Boscaro, Mario. *Imagen digital* [en línea]. Editor: Sanchez Muñoz, Gustavo. 18 de octubre, 2007. Disponible en: <http://www.gusgsm.com>
10. Calvo, M.L "El espectro electromagnético, visibilidad espectral, fisiología del ojo" Universidad Complutense de Madrid, Máster de Física Biomédica, 2008.
11. J. Lucas, Robert et al. "Measuring and using light in the melanopsin age." Trends in Neuroscience, Vol 37, No 1, enero 2014
12. Tsz Wing, Leung et al. "Blue-Light Filtering Spectacle Lenses: Optical and Clinical Performances" Plos One, Vol 12, enero 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169114>
13. Fernandez, Cristina et al. "Spectral radiance of blue light filters on ophthalmic lenses." Óptica pura y aplicada, Vol 50, No 2, pg 165.172, 2017.
14. Photobiological safety of lamps and lamp system (IEC 62471:2006, modified). European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). September, 2008.

15. ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). "Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 and 400 nm (incoherent optical radiation)." *Health Phys*, vol 87, No 2, pg 171–86, 2004
16. Ophthalmic optics – Part 3: transmittance specifications and test methods (ISO 8980-3:2013). European Committee for Standardization (CEN). October 2013.
17. Moore, L et al. "Ultraviolet (UV) transmittance characteristics of daily disposable and silicone hydrogel contact lenses." *Contact Lens & Anterior Eye*, vol 29 pg 115-122, 2006.
18. Rahmani, Saeed et al. "Spectral transmittance of UV-blocking soft contact lenses: A comparative study." *Contact Lens & Anterior Eye*, Vol 37, pg 451-454, 2014.
19. S DeLoss K, E Walsh J, P G Bergmanson J. "Current silicone hydrogel UVR blocking lenses and their associated protection factors". *Contact Lens & Anterior Eye*. 2010; 33: 136-140
20. Artigas, Jose M et al. "Light transmission and ultraviolet protection of contact lenses under artificial illumination." *Contact Lens & Anterior Eye*, vol 39, pg 141-147, 2016.