



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

# **Grado en Óptica y Optometría**

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Absorción del UV en lentes oftálmicas y de contacto.

Presentado por: David Casado Salas

Tutelado por: David Mateos  
Carlos Toledano

Tipo de TFG: Investigación

En Valladolid a 27 de Mayo de 2021

## **Agradecimientos**

“A mis tutores por acompañarme y aconsejarme en la elaboración del TFG”

“A Multiópticas y ESSILOR por el material cedido”

“A mis padres por su apoyo incondicional”

## ÍNDICE

RESUMEN.....	4
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1. LA LUZ.....	5
1.1.1. RADIACIÓN SOLAR Y EL UV.....	6
1.1.2. TRANSMITANCIA.....	7
1.1.3. EFECTOS DE LA RADIACIÓN UV EN EL ADN HUMANO.....	7
1.2. EFECTOS DEL UV EN EL OJO HUMANO.....	8
1.2.1. EL OJO HUMANO COMO FILTRO NATURAL.....	8
1.2.2. EFECTOS NOCIVOS DEL UV EN EL OJO HUMANO.....	9
1.3. OBJETIVOS.....	10
CAPÍTULO 2. INSTRUMENTACIÓN Y METODOLOGÍA.....	11
2.1. INSTRUMENTACIÓN.....	11
2.1.1. ESPECTRORRADIÓMETRO.....	11
2.1.2. MONTAJE.....	12
2.1.3 FUENTE DE LUZ.....	13
2.1.4. MATERIAL UTILIZADO.....	14
2.2. METODOLOGÍA.....	16
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	17
3.1. LENTES OFTÁLMICAS BLANCAS.....	17
3.2 LENTES DE PROTECCIÓN SOLAR.....	18
3.2. LENTES DE CONTACTO.....	19
CAPITULO 4. DISCUSIÓN.....	20
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	22
BIBLIOGRAFÍA.....	22

---

## **Resumen**

En el presente trabajo de fin de grado se estudiará la transmitancia de diferentes lentes oftálmicas, lentes de contacto y lentes de protección solar frente a la radiación UV procedente del Sol, por su implicación directa con el desarrollo y progresión de diferentes patologías oculares. Para ello, se han llevado a cabo medidas de la transmitancia relativa de los diferentes materiales oftálmicos con un espectrorradiómetro Li-Cor1800, en el intervalo de 300 a 510nm, con una lámpara FEL capaz de emitir radiación desde el UV hasta el infrarrojo. Representaremos los resultados de la transmitancia relativa de los materiales utilizados en diferentes gráficas, para su posterior análisis e interpretación, comprobaremos así la importancia de utilizar material óptico homologado frente a la radiación UV y la relación entre los materiales utilizados en su fabricación con la transmitancia espectral resultante.

## **Abstract**

In this final degree thesis, the transmittance of different ophthalmic lenses, contact lenses and sun protection lenses against solar UV is studied, because of its direct implication with the development and progression of different ocular pathologies. For this purpose, measurements of the relative transmittance of different ophthalmic materials are carried out with a Li-Cor1800 spectroradiometer, in the range of 300 to 510nm, with a FEL lamp capable of emitting radiation from UV to infrared. Spectral plots of the transmittance obtained in the lab are used, for further analysis and interpretation, thus verifying the importance of using approved optical material against UV radiation and the relationship between the materials used in its manufacture with the resulting spectral transmittance.

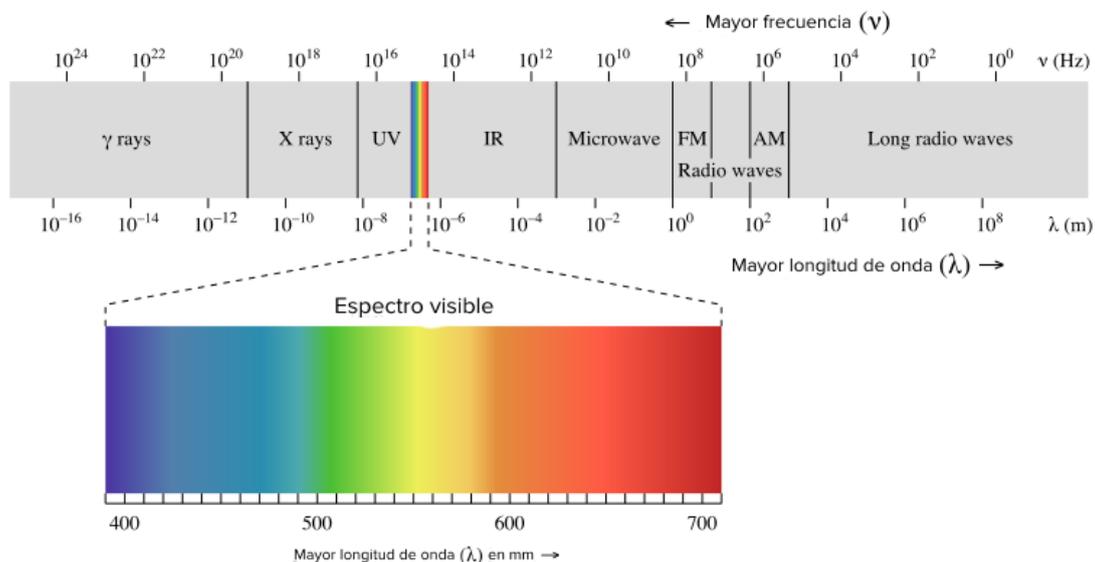
## Capítulo 1. Introducción

### 1.1. La Luz

La naturaleza de la luz se describe en su dualidad onda-corpúsculo, como una onda electromagnética que se propaga a una velocidad:  $c = 300.000 \text{ km/s}$  en el espacio, según las ecuaciones descritas por Maxwell [2] y como un corpúsculo en procesos de absorción y emisión como se observó en el efecto fotoeléctrico descrito por Planck en 1900 [2], ambas son necesarias para comprender el comportamiento de la luz.

En el estudio del comportamiento de la luz, nos encontramos con la radiometría, definida como un sistema de conceptos, instrumentos de medida y unidades ideados para describir y medir la radiación y su interacción con la materia [1]. Dentro de esta rama de la Óptica, es objeto de interés la distribución energética de la radiación dentro del espectro electromagnético, también conocida como distribución espectral.

La distribución espectral de la luz ha sido estandarizada por la CIE o Commission Internationale de L'Éclairage [3], cada componente de la radiación se define en función de su longitud de onda ( $\lambda$ ) y su frecuencia (Hz) como se muestra en la Figura1.:



**Figura 1.** Espectro electromagnético. Adaptado de internet.

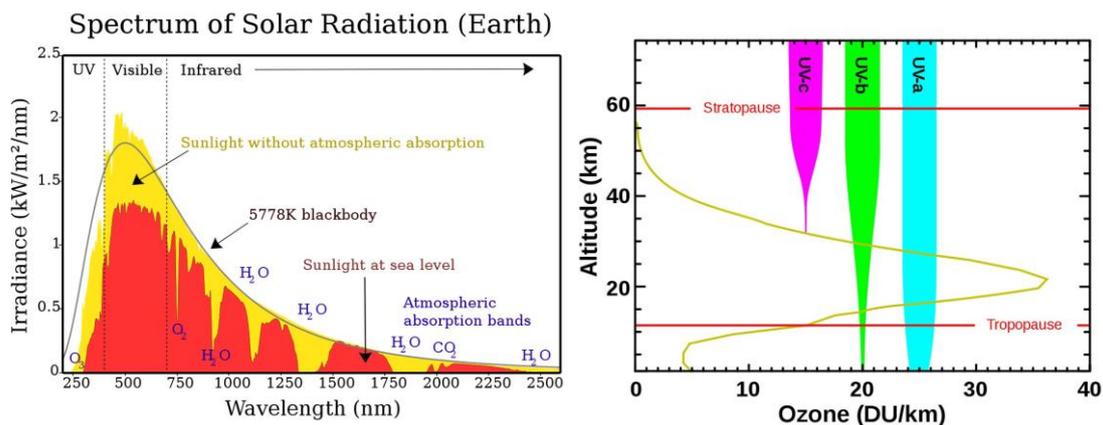
Esta descomposición del espectro electromagnético, se ha establecido acorde a la capacidad de las distintas radiaciones para producir efectos biológicos, y abarca desde los rayos X con  $\lambda$  muy pequeñas, hasta las ondas de radio con  $\lambda$  inmensas, del orden de  $10^8 \text{ m}$  [4].

### 1.1.1. Radiación solar y el UV

El espectro de emisión del sol está formado principalmente (en torno al 99%) por luz UV, visible e infrarroja cercana, con longitudes de onda entre los 200nm y 3000nm, de la cual tan sólo el 8% corresponde al UV [5]. Esta radiación comprende un rango entre los  $8 \times 10^{14}$  Hz y  $3 \times 10^{16}$  Hz [2] y según la CIE [3] se puede dividir en:

- UVC radiación comprendida entre 100 y 280 nm
- UVB radiación comprendida entre 280 y 315 nm
- UVA radiación comprendida entre 315 y 380 nm

No toda la radiación emitida por el sol llega a la superficie terrestre, antes de alcanzarla ha de pasar por la atmósfera, donde toda la radiación UV-C y una gran parte de UV-B es absorbida por los gases que la componen, principalmente el ozono, vapor de agua, etc. Es por ello que la radiación UV que llega a la superficie terrestre está compuesta en un 95% de UV-A y un 5% de UV-B [5].



**Figura 2.** Absorción de la radiación solar (panel izquierdo) y UV por la atmósfera terrestre (panel derecho). Adaptado de internet.

En la Figura 2 podemos observar el espectro de emisión del Sol, en amarillo, acorde al de un cuerpo negro de temperatura 5778K; en rojo, la resultante de la radiación solar tras atravesar las diferentes capas de la atmósfera, es decir la radiación que llega a la superficie terrestre.

### 1.1.2. Transmitancia

Cuando un haz de luz atraviesa un medio, un porcentaje de ella es reflejada, otro es absorbido por el material y el restante es transmitido; si descomponemos la luz en sus distintas longitudes de onda y comparamos la radiación incidente con la transmitida, su cociente nos dará el factor de transmitancia espectral o transmitancia de dicho material para cada  $\lambda$  de la radiación. Estas se representan en las curvas de transmisión, que en este caso nos permitirán conocer dónde se encuentra el corte del UV para cada material y la protección real que nos ofrecen las distintas lentes ante la radiación UV [6]. Para realizar dichas medidas se utiliza un instrumento denominado espectrorradiómetro, del cual hablaremos más adelante.

La transmitancia (T), se define como el cociente entre el flujo transmitido y el flujo incidente [2],

$$T = \frac{I_t \cos\theta_t}{I_0 \cos\theta_0} \times 100 \quad (1)$$

Donde  $I_0$  es la densidad de flujo radiante o irradiancia incidente, la ecuación es dependiente tanto del ángulo de incidencia como del de refracción, e  $I_t$  es la densidad de flujo radiante resultante tras atravesar el material. El factor 100 nos permite calcular la transmitancia en tanto por ciento.

Nuestro dispositivo experimental está diseñado de tal forma que, tanto el haz incidente como el transmitido incidan normalmente a la superficie del material a estudiar, es por ello que el factor  $\cos\theta$  será igual a 1 en la fórmula (1), la cual se simplifica como:

$$T = \frac{I_t}{I_0} \times 100 \quad (2)$$

En esta ecuación (2) hemos indicado explícitamente el carácter espectral de la radiación, ya que gracias al espectrorradiómetro podemos medir la transmitancia para cada longitud de onda.

### 1.1.3. Efectos de la radiación UV en el ADN humano

La radiación UV es objeto de estudio en la rama de Óptica y Optometría por su implicación en la salud humana. Los fotones que componen la radiación UV tienen energías entre 3,2 eV hasta los 100 eV [2], energía suficiente como para desencadenar muchas reacciones químicas.

La radiación UV puede penetrar en el tejido humano y producir daños en la piel, ojos e incluso en el sistema inmunitario [7]. La radiación UV-B es más energética [2] y por tanto más nociva, contribuye en torno al 80% de los efectos dañinos asociados a la exposición solar, el otro 20% restante corresponde al UV-A.

La radiación ultravioleta tiene la energía suficiente como para alterar la estructura del ADN humano. Esta induce la formación de dos fotoproductos relevantes, los

dímeros de pirimidina tipo cilobutano (CPDs), y los fotoproductos de 6-4 pirimidina pirimidona (6-4 PPs). Ambas lesiones se producen únicamente en dímeros de pirimidinas, dando lugar a mutaciones características del ADN, mutaciones de “firma UV” [7]. Estas lesiones son reparadas por el sistema NER, constituido por una serie de proteínas que de forma secuencial reconocen el daño producido en la cadena de ADN, abren la doble hélice por la zona de la lesión y realizan una incisión de la hebra dañada por uno de los lados de esta. A continuación retiran el oligonucleótido dañado y la ADN polimerasa correspondiente rellena el hueco de la cadena [10].

Este tipo de lesiones dan lugar a mutaciones únicas en el ADN, la radiación UV induce transiciones C-T y CC-TT en las secuencias de dímeros de pirimidina, conocidas como mutaciones de firma UV [10], producidas durante la replicación semiconservativa del ADN, por la ADN polimerasa. Cuando esta llega a la lesión del dímero de pirimidina no es capaz de interpretar correctamente que base complementaria ha de insertar e introduce una adenina por defecto, de este modo aparecen mutaciones del tipo C a T y CC a TT [10].

Posteriormente el error es arrastrado en la replicación semiconservativa del ADN dando lugar a estas mutaciones características presentes en melanomas malignos cutáneos, queratosis actínicas, cánceres de queratinocitos... [7].

## 1.2. Efectos del UV en el ojo humano

### 1.2.1. El ojo humano como filtro natural

El ojo funciona como un filtro selectivo para la radiación, esto condiciona la radiación que llega a la retina, compuesta principalmente por luz visible. La radiación visible comprende un rango desde los 380-450nm hasta los 620-750nm y es la única capaz de estimular los fotorreceptores de la retina en el ojo humano. A su paso por las diferentes estructuras del ojo, la radiación experimenta fenómenos de absorción, con el fin de proteger sus estructuras internas, fundamentalmente la retina.

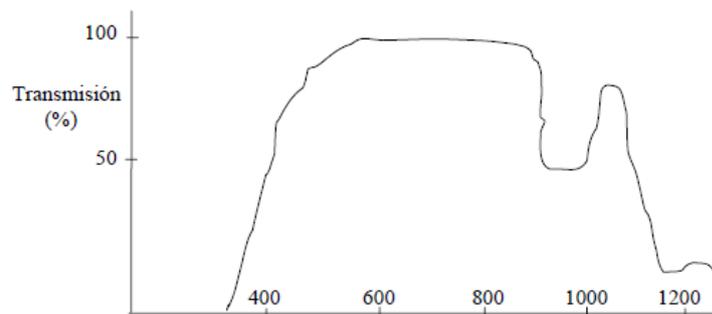
-Córnea: absorbe toda la radiación por debajo de los 290nm (UV-C), deja pasar toda la radiación visible y no deja pasar radiación por encima de los 2 $\mu$ m (IR-B) / según la CIE [3], [4], [7].

-Humor Acuoso: contribuye a absorber parte del UV que consigue atravesar la córnea y absorbe en gran medida el infrarrojo por debajo de los 2 $\mu$ m (IR-B).

-Cristalino: su transmitancia evoluciona a lo largo de la vida acorde a los cambios que experimenta el cristalino con la edad (esclerosis del cristalino), llegando a afectar a la radiación visible; es el encargado de absorber la mayor cantidad del UV que nos llega, en concreto absorbe la radiación comprendida entre los 300-400nm (UV-A), evitando que esta dañe la retina. En cambio, permite pasar prácticamente toda la radiación IR [7].

-Humor Vítreo: presenta una absorción relativa, <50%, únicamente en el infrarrojo cercano, IR-A, que comprende un rango desde los 780-1400nm según la CIE [3].

Por tanto, podemos afirmar que la radiación resultante que llega a la retina se compone principalmente por radiación visible e infrarroja cercana y en menor medida por UV-A, como podemos observar en la Figura 3:



**Figura 3.** Resultado de las transmitancias espectrales de las distintas estructuras del ojo, que atraviesa la luz hasta llegar a la retina. [4]

### 1.2.1. Efectos nocivos del UV en el ojo humano

La exposición a la radiación solar, más en concreto a la radiación UV, es un factor de riesgo para la aparición de diversas enfermedades oculares y sus anejos, que pueden llegar a generar una deficiencia visual moderada o grave [8].

La primera estructura ocular que se ve afectada por esta radiación es el **párpado**, recubierto por piel, susceptible por tanto de padecer enfermedades cutáneas primarias como enfermedades sistémicas que se manifiesten a través de la piel. Asociadas a la radiación UV encontramos: melanoma maligno cutáneo, cáncer de queratinocitos, carcinoma de células de Merkel y fotodermatosis [7].

A continuación la luz llega a la **córnea** y la **conjuntiva**, una exposición continuada a la radiación solar puede generar tanto fotoqueratitis como fotoconjuntivitis, tras un periodo de latencia entre los 30min y 24h a la exposición [4], debido a la cantidad de UV que absorben estas estructuras. El daño que produce la radiación UV en estas estructuras es de carácter fotoquímico y acumulativo, es por ello que puede llegar a desarrollar patologías como el pterigium, pinguécula y diversas queratopatías. A nivel corneal encontramos degeneraciones esfenoidales en el epitelio de bowman y estroma anterior, en el endotelio corneal se ha observado una disminución de las células endoteliales, las cuales no se regeneran [8], [9].

Asociado a exposiciones prolongada de UV-B encontramos patologías oculares como la neoplasia escamosa de la superficie ocular, tanto en córnea como en conjuntiva, y melanoma conjuntival [7].

Una mayor exposición a la radiación UV a lo largo de la vida, está asociado a un temprano desarrollo de opacidades en el **crystalino**, más en concreto cataratas nucleares, debido a la gran cantidad de UV que este absorbe (entre 290-380nm), capaz de desnaturalizar las proteínas que lo componen.

Pese a que la cantidad de UV que llega a la **retina** sea mínimo, una mayor exposición a esta, está asociada al desarrollo de patologías de la retina como DMAE.

La exposición a la radiación UV conlleva cambios en las funciones del **sistema inmune** como la supresión de la inmunidad adaptativa, reactivación de infecciones virales como la del herpes HHV8, modulación de la inmunidad innata... [7].

Es por ello que debemos aportar una protección extra a nuestros ojos mediante la utilización de filtros externos, reduciendo así, la exposición de las distintas estructuras oculares de la radiación UV y con ello el riesgo de desarrollar patologías oculares como las descritas anteriormente.

### 1.3. Objetivos

En el presente TFG pretendemos estudiar la transmitancia espectral de diferentes materiales ópticos, como lentes oftálmicas, lentes de contacto y lentes de protección solar en el rango de la luz UV. Analizaremos la protección real que ofrecen al ojo frente al UV y de crear conciencia acerca de la necesidad de proteger nuestros ojos, capaz de producir diferentes patologías oculares y dermatológicas.

Para llevar a cabo estos objetivos serán necesarias las siguientes tareas:

- Documentación previa a cerca de la radiación UV y sus efectos sobre la salud humana.
- Obtención de material óptico, para llevar a cabo las medidas.
- Llevaremos a cabo medidas en el laboratorio con instrumentación óptica de alta precisión, la cual nos permitirá obtener la transmitancia espectral del material utilizado.
- Control de software para la obtención de datos, análisis de resultados y manejo de la instrumentación necesaria.
- Discusión y conclusiones a cerca de los resultados obtenidos.

## Capítulo 2. Instrumentación y procedimiento experimental

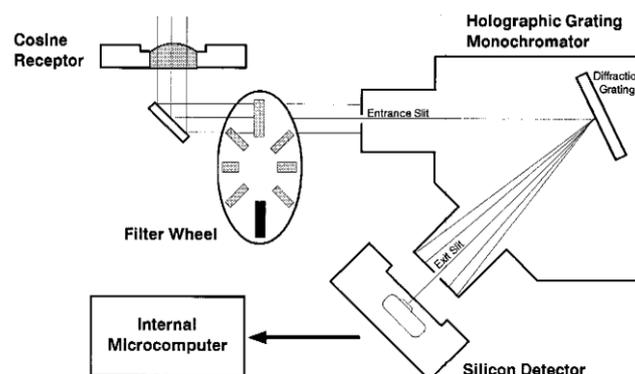
### 2.1. Instrumentación

#### 2.1.1. Espectrorradiómetro

Para analizar y comparar la radiación que llega al receptor, con y sin lentes, utilizaremos dos espectrorradiómetros distintos, capaces de medir la irradiancia espectral del haz incidente [1].

*Espectrorradiómetro ASD Field Spec Pro*, se trata de un instrumento ideal para analizar la radiación UV, visible e infrarroja cercana, entre otras aplicaciones como el análisis de minerales y vegetales, teledetección... Este cuenta con una red de difracción holográfica cóncava que consigue dispersar el haz de luz incidente en longitudes de onda entre 350nm y 2500nm, aunque realmente el rango de  $\lambda$  que a nosotros nos interesa abarca desde los 350 a los 450nm, y un sistema de espejos que consigue proyectar la luz dispersada sobre un detector CCD, este convierte los fotones incidentes en electrones, los cuales son integrados hasta el momento de lectura en el que la corriente fotoeléctrica es convertida en tensión y se digitaliza mediante un convertidor analógico digital de 16bits. Estos datos serán almacenados en la memoria del ordenador y procesados por el software ViewSpec® Pro. El instrumento incluye un haz de fibra óptica cónico que subtende un ángulo completo de 25° para la captación de luz [11].

*Espectrorradiómetro LI-COR1800*, a diferencia del ASD, consta de un receptor coseno, un difusor formado por un anillo esférico de PTFE, el cual subtende un ángulo completo de 180°. Este monocromador consta de una rejilla holográfica de barrido accionada por un motor, capaz de dispersar la radiación recibida en sus distintas componentes espectrales. En este caso el detector está constituido por un fotodiodo de silicio. A diferencia del ASD este espectrorradiómetro es capaz de descomponer y medir la energía luminosa captada desde los 300nm hasta los 1100nm, por lo que nos aportará una mayor información de la transmitancia de los materiales en el espectro del UV [12].

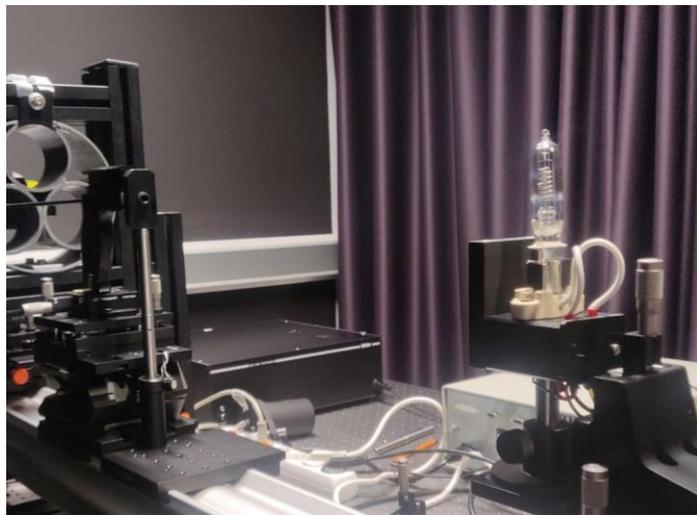


**Figura 4.** Esquema del espectrorradiómetro LI-COR 1800. Fuente: LI-1800 Portable Spectroradiometer Instruction Manual [12].

Como se muestra en la Figura 4, el LI-1800 consta de una rueda de 7 filtros selectivos distintos y un objetivo opaco, con la función de eliminar la luz parásita fuera del rango seleccionado. El objetivo opaco se coloca automáticamente antes y después de cada escaneo para medir el offset del sistema y restarlo de las medidas realizadas [12].

Estos cambios de filtros llevan asociada una respuesta en la intensidad radiante captada por el receptor del espectrorradiómetro, esta se manifiesta en los resultados como un pequeño pico en la transmitancia relativa de los materiales en los 348nm, como se podrá observar en las medidas realizadas.

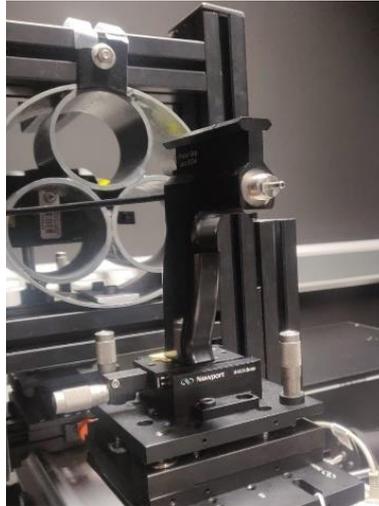
### 2.1.2. Montaje



**Figura 5.** Dispositivo experimental: bombilla FEL, soporte para lentes de contacto y receptor de fibra óptica del espectrorradiómetro ASD.

El montaje del experimento sigue el siguiente esquema: en primer lugar colocaremos en el banco óptico una fuente de luz, descrita en el apartado 2.1.3., a continuación dispondremos el material óptico del cual queremos calcular su transmitancia y por último un receptor de energía radiante alineado con la fuente de luz, para lo cual necesitaremos un láser de precisión.

El receptor está conectado al espectrorradiómetro a través de un haz de fibra óptica que a su vez está conectado a un ordenador mediante conexión puerto serie RS-232, dicho ordenador consta de un software ViewSpec® Pro [11] en el caso del ASD y de un software propio de LI-COR para el Li-1800 [12], capaces de almacenar y representar la información luminosa captada en curvas de radiación espectral, con las que interpretaremos la transmitancia de los distintos materiales deseados.

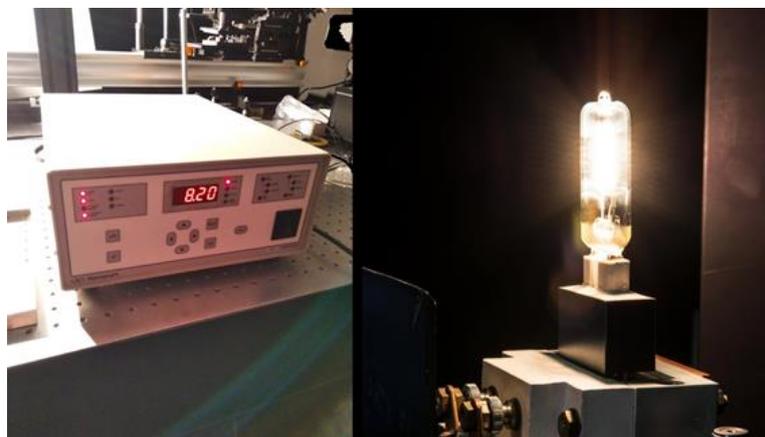


**Figura 6.** Receptor de fibra óptica sobre soporte. Este permite alinear la entrada de fibra óptica con la lámpara FEL, perpendicularmente.

Para sujetar las distintas muestras utilizaremos un soporte de pinzas en el caso de lentes oftálmicas y de protección solar y un soporte especial diseñado para sujetar las lentes de contacto.

### 2.1.3 Fuente de luz

Como fuente de luz hemos utilizado una lámpara tipo FEL. Se trata de una lámpara halógena compuesta por un filamento de Wolframio, capaz de emitir radiación desde el UV hasta el infrarrojo, nos servirá para recrear la radiación solar; el filamento está recubierto por un vidrio de cuarzo, el cual no absorbe radiación en el espectro del UV, y rodeado de un gas inerte como yodo o bromo, permitiéndonos así medir el espectro de transmisión de la radiación UV del material óptico utilizado. La bombilla está conectada a una fuente de alimentación estabilizada *Newport* (figura 7), que transforma la corriente alterna de la red en corriente continua de intensidad 8,2A proporcionando una potencia a la bombilla de aproximadamente 1000W.



**Figura 7.** Fuente de alimentación Newport (a la izquierda) y lámpara FEL (a la derecha).

## 2.1.4 Material óptico.

### Lentes oftálmicas

Trabajaremos con lentes oftálmicas neutras, para evitar que la potencia de las lentes afecte a la intensidad de la radiación que llegue a nuestro receptor coseno. Se trata de lentes orgánicas, talladas digitalmente, con índices de refracción  $n=1.5$ ,  $1.6$  y  $1.67$ . Observaremos la relación existente entre el  $n$  y el corte que presentan en el UV. Contamos con 3 lentes oftálmicas:

- a) ORMA Crizal Shapphire UV: se trata de una lente orgánica, esférica, neutra, con un índice de refracción  $1.5$ . Esta lente lleva un tratamiento antirreflejante "Crizal Shapphire UV" que promete una alta protección al UV, pese a que en su ficha técnica se especifica que la protección al UV no es del 100% en las lentes ORMA 1.5 [15].
- b) ORMIX: se trata de una lente orgánica, esférica, neutra, con un  $n=1.6$ , número de Abbe "V": 41 y una densidad de  $1.30\text{g/cm}^3$ . En su ficha técnica se especifica una gran protección al UV-A y UV-B, con un corte del mismo en  $395\text{nm}$  [15].
- c) STYLIS Crizal Forte UV: se trata de una lente orgánica, esférica, neutra, con un índice de refracción  $n=1.67$ , número de Abbe "V": 32 y una densidad de  $1.36\text{g/cm}^3$ , además se le ha aplicado un tratamiento antirreflejante "Crizal Forte UV". En su ficha técnica se especifica una protección total al UV-A y UV-B, con un corte del mismo en  $395\text{nm}$  [15].
- d) Gafas de Protección Ocular: Gafas de Policarbonato para la protección ocular en el laboratorio, acordes a la normativa EN-166-F [16].

### Lentes de protección solar

Disponemos de una amplia gama de lentes de protección solar, de distintas marcas, categorías solares (ver Tabla 1), tonos.... los cuales describiremos a continuación:

- a) Lentes minerales coloreadas en masa: el principal componente de la masa vítrea es la sílice a la cual se añaden distintos óxidos con el fin de proporcionar a las lentes distintas propiedades físicas y químicas, en este caso se utilizó un óxido de cromo el cual aporta un tono verdoso a la lente. La combinación y proporciones de óxidos metálicos utilizados en la masa de la lente determinaran la transmisión espectral de la misma, al igual que en el resto de lentes. Cabe destacar que la transmitancia de estas lentes variará en función del espesor de las mismas, punto a punto [4], [6].
- b) Lentes orgánicas coloreadas por inmersión: estas son sumergidas en una solución que contiene los colorantes orgánicos deseados, los cuales son embebidos por la lente. La densidad resultante dependerá de los colorantes utilizados y del tiempo de inmersión de las lentes. Esta técnica permite un acabado homogéneo de la lente, independientemente del espesor de la misma, además de una gran variedad de tonos e incluso degradados [4], [6].

Contamos con lentes orgánicas n: 1,5 “ORMA” coloreadas en masa de distintas categorías de protección solar o factor de absorción de la luz visible tal y como se muestra en la figura 8.

Tabla 1. Categorías de protección solar con sus respectivas transmitancias dentro del espectro visible.

Categoría Solar	Transmitancia
0-A	80%-100%
1-AB	40%-80%
2-B	20%-40%
3-C	10%-20%
4-D	0%-10%



**Figura 8.** Lentes de protección solar ordenadas de menor a mayor categoría solar.

- c) Lentes orgánicas con efecto espejo, cuenta con una fina capa de óxidos depositados sobre la superficie de la lente, dicho proceso se puede llevar a cabo con diversas técnicas. Estas lentes reflejan la luz visible en vez de absorberla y requieren de un proceso de adherencia del tratamiento que actúe de filtro para la radiación UV [8].
- d) Lente de Policarbonato: utilizadas como lentes de protección por su alta resistencia a los impactos y como filtro ante la radiación UV por el corte que presenta del mismo en el espectro electromagnético en torno a los 380nm [4].
- e) Lentes orgánicas polarizadas: tras ser reflejada especularmente por una superficie, la luz es parcial o totalmente polarizada, en función del ángulo de incidencia y de la naturaleza de la superficie reflectante. La principal función de las lentes polarizadas es eliminar esta reverberación de la luz, hasta el 99% de la misma, otorgando un mayor confort al usuario. Además este tratamiento permite eliminar un 96% de la radiación UV, el 60% de la luz IR y en torno al 62-82% de la radiación visible [4].

### Lentes de contacto

En el caso de las LC, todas ellas cuentan con un mínimo de graduación entre - 0.50 y +0.50, en función de la disponibilidad del fabricante. Hemos utilizado las siguientes lentes de contacto blandas [13], [14]:

- a) Proclear de CooperVision Iberia S.R.L.U., material: Omafilcon B 38% no iónico, contienen un 62% de hidratación. No bloquea el UV. Rx: +0,50D.

- b) Biomedics 1 DAY Extra de CooperVision Iberia S.R.L.U., material Ocufilecon D 45% iónico, contiene un 55% de hidratación. No bloquea el UV. Rx: +0,50D.
- c) Biomedics 55 Evolution de CooperVision Iberia S.R.L.U., material: Ocufilecon D 45% iónico, contiene un 55% de hidratación. Sí bloquea el UV. Rx: -0,50D.
- d) My Day de CooperVision Iberia S.R.L.U., material: hidrogel de silicona 54%, contiene 46% de hidratación. Sí bloquea el UV. Rx: +0,25D.
- e) Biofinity de CooperVision Iberia S.R.L.U., material: Comfilecon A 52% no iónico, contiene un 48% de hidratación. No bloquea el UV. Rx: +0,25D.
- f) Biofinity Multifocal de CooperVision Iberia S.R.L.U., material: Comfilecon A 52% no iónico, contiene un 48% de hidratación. No bloquea el UV. Rx: +0,25D.
- g) My.Vision Max + de CooperVision Iberia S.R.L.U., material: Fanfilecon A 45%, contiene un 55% de hidratación. Sí bloquea el UV. Rx: +0,25D.

## 2.2. Procedimiento experimental

En primer lugar será necesario realizar una medida del offset del instrumento, con todas las luces del laboratorio apagadas, la cual restaremos del resto de medidas, para conseguir la mayor fidelidad posible en los datos recogidos. Esta medida se llevará a cabo al inicio de cada sesión de recogida de datos.

Para obtener el valor de la transmitancia relativa de cada material será necesario realizar dos medidas, una inicial o blanco ( $I_0(\lambda)$ ) en la que mediremos la radiación que llega al detector desde nuestra fuente de luz. Para obtener el blanco deseado fue necesario realizar distintas medidas, con diferentes distancias entre el detector y la fuente de luz de modo que llegase suficiente radiación UV sin que saturase en exceso en el resto de  $\lambda$  próximas al UV, obteniendo así unas medidas utilizables en el rango 300-510nm.

A continuación colocaremos el material deseado entre el emisor y el receptor de radiación, con un soporte que permita una posición estática del mismo evitando así posibles variaciones de las medidas, y mediremos la radiación que llega al receptor.

Realizaremos 20 medidas con cada material y de estas obtendremos la media, el valor resultante será " $I(\lambda)$ ".

Para obtener el blanco deseado fue necesario realizar distintas medidas, con diferentes distancias entre el detector y la fuente de luz de modo que llegase suficiente radiación UV sin que saturase en exceso en el resto de  $\lambda$  próximas al UV, obteniendo así unas medidas claras.

Con ambas medidas,  $I_0$  e  $I$ , podremos obtener el valor de la transmitancia espectral relativa ( $T_\lambda$ ) de dicho material, según la ecuación (3).

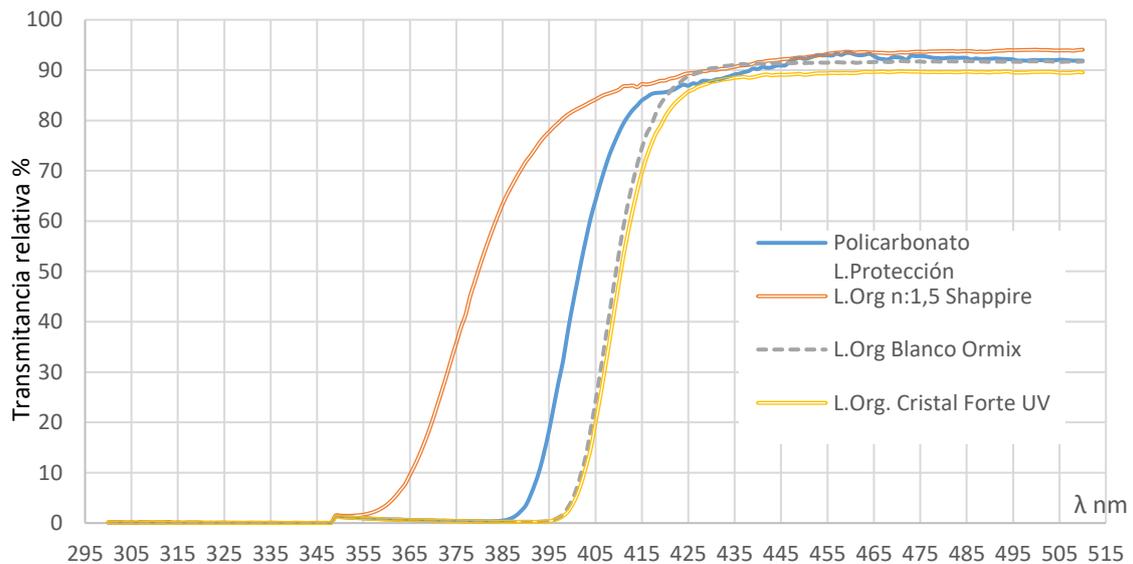
$$T_{\lambda} = \frac{I - I_{offset}}{I_0 - I_{offset}} \times 100 \quad (3)$$

Una vez realizadas todas las medidas, representaremos la transmitancia espectral relativa de cada material en una curva espectral, mediante gráficas de Excel. En ellas representaremos la longitud de onda ( $\lambda$ ) en el eje de abscisas y en el eje de ordenadas la transmitancia relativa (en %) para cada una de ellas.

### Capítulo 3. Resultados

En el siguiente apartado se mostrarán los resultados obtenidos por el espectrorradiómetro Li-1800 para los distintos materiales ópticos utilizados, dado que su rango de medición en el UV es mayor que el del ASD y nos permitirá un mejor análisis de la transmitancia de los materiales a esta radiación. Solamente se mostraran las medidas con el ASD (que comienzan en 350nm) para aquellos materiales en los que las medidas con el Li-1800 hayan mostrado algunos problemas.

#### 3.1 Lentes oftálmicas blancas



**Figura 9.** Transmitancias relativas de las lentes oftálmicas neutras y del policarbonato.

En la Figura 9, podemos observar las transmitancias relativas de las lentes oftálmicas presentadas en el apartado 2.1.4. y del policarbonato, el cual se incluye en este gráfico por la similitud de su transmitancia con el resto de lentes.

En cuanto a las lentes, podemos verificar que todas ellas garantizan una protección total del UV-B y del UV-A, a excepción de la lente ORMA n: 1.5, cuyo corte al UV comienza en torno a los 350nm, de modo que bloquea al 100% el UV-B pero permite un gran paso de UV-A, comprendido entre los 315 y 380nm.

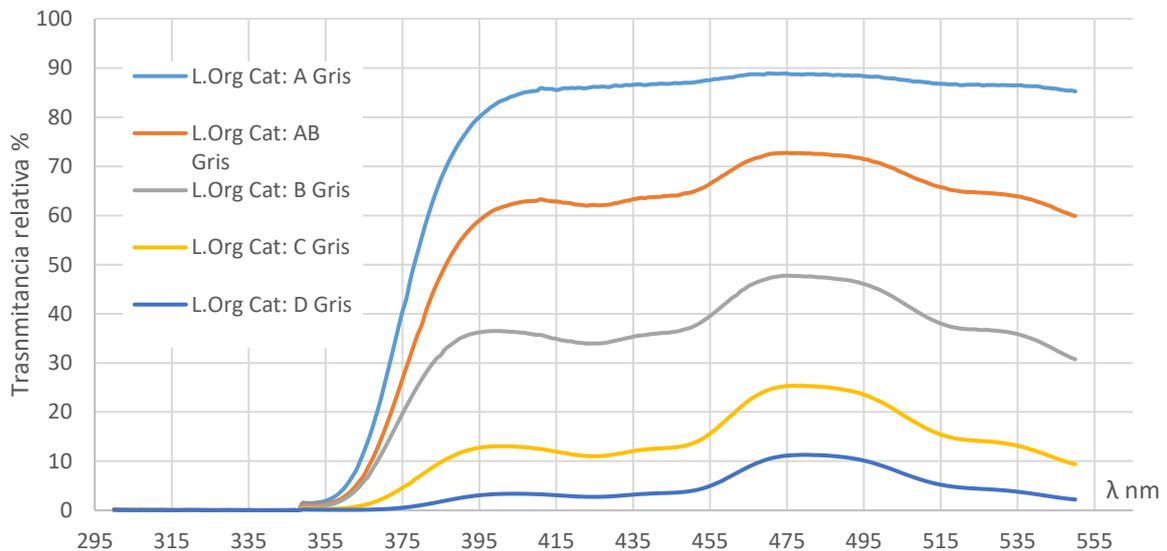
Por último las lentes ORMIX y STYLIS de  $n= 1.6$  y  $1.67$  respectivamente, poseen un corte para el UV en 395nm como se especifica en su ficha técnica, es por ello que, al igual que el policarbonato, garantizan una protección total al UV, al igual que el policarbonato, cuyo corte al UV comienza en los 384nm, garantiza una protección total al UV estrictamente definido por la CIE, sin afectar a las longitudes de onda corta del espectro visible correspondientes al violeta y azul.

Se puede observar en la gráfica el mencionado pico en 348nm que proviene del instrumento, no de las lentes oftálmicas.

### 3.2 Lentes de protección solar

#### a) Categorías solares

El la Figura 10 podemos observar la transmitancia relativa de las distintas lentes de protección solar en el espectro del UV y parte del espectro visible, en concreto la zona de los azules, en función de su categoría solar.



**Figura 10.** Transmitancias relativas de las lentes en función de su categoría solar.

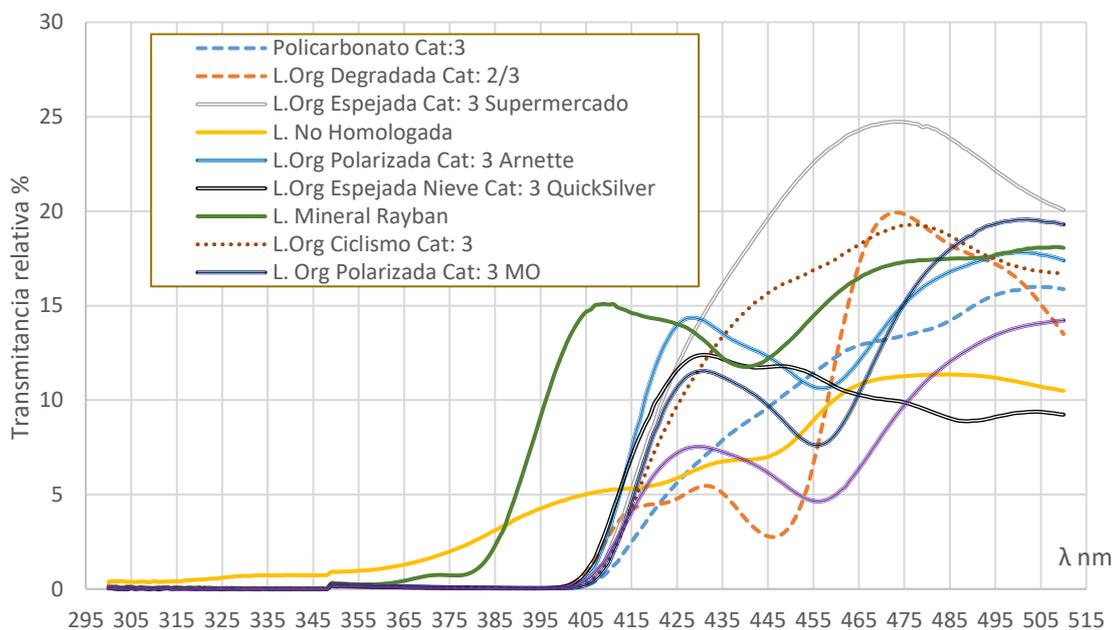
Al tratarse de lentes orgánicas ORMA, de índice de refracción  $n= 1.5$ , todas ellas presentan el corte frente al UV en el mismo punto, es decir en 350nm, al igual que la lente presentada en la figura anterior, es por ello que no ofrecen una protección total del UV, tan solo al UV-B.

A partir de los 350nm, punto de corte al UV, las transmitancias de las lentes varían en función de su categoría solar, como se muestra en la Tabla 1, la cual se determina en su proceso de fabricación, explicado en el apartado 2.1.4.

## b) Gafas de sol

Dentro de las distintas categorías de protección solar, la más comercializada es la categoría 3 o C, es por ello que hemos recogido distintas muestras para analizar sus transmitancias espectrales, como se muestra en la Figura 11.

A excepción de las lentes minerales y las lentes no homologadas, el resto de lentes orgánicas de protección solar de categoría 3, cumplen con la normativa *UNE-EN SO 12312-1:2013/A1:2015* en relación a la protección de ojos y cara, gafas de sol y artículos relacionados. Todas ellas presentan un corte al UV en torno a los 400nm garantizando una protección total al UV-B y UV-A, a partir de ese punto la transmitancia relativa de las lentes en el espectro del visible varía en función de los tratamientos recibidos, el color de las mismas... manteniendo valores en torno al 10-20% de la transmitancia como se especifica en la categoría 3, salvo las lentes espejadas de supermercado que asciende hasta el 25%.

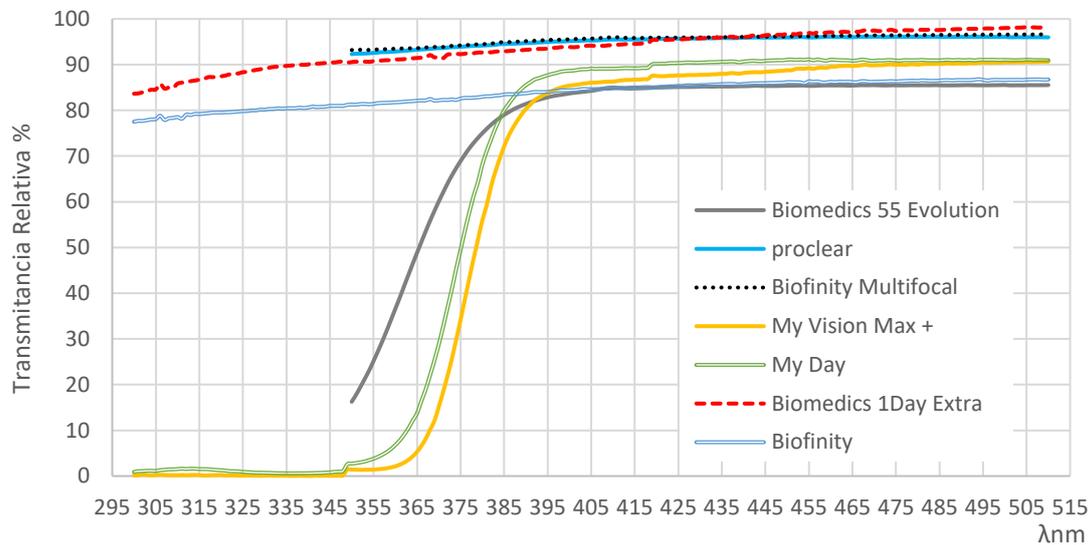


**Figura 11.** Lentes de protección solar de categoría 3

### 3.3 Lentes de contacto

En la Figura 12, podemos observar los resultados obtenidos en cuanto a la transmitancia relativa de las LC presentadas en el apartado 2.1.4. En este caso ha sido necesario presentar los datos obtenidos con el ASD (Proclear, Biomedics 55 Evolution y Biofinity multifocal), dada la incompatibilidad de los resultados obtenidos con el LI-1800. Podemos apreciar una notable diferencia en la transmitancia a la radiación UV entre las LC con filtro al UV y las que no. Las LC sin filtro al UV poseen una transmitancia relativa al UV similar a la luz visible, en cambio observamos un descenso en la transmitancia en torno a los 395nm en aquellas con filtro al UV.

Tanto la *My Day* como la *My vision Max +* ofrecen una protección total al UV-B y al UV-A hasta los 350nm, en cambio la *Biomedics 55 Evolution* pese a que ofrece una protección total al UV-B, deja pasar UV-A desde los 300nm (según los datos obtenidos con el LI-180) alcanzando una transmitancia de en torno al 15% en los 350nm.



**Figura 12.** Transmitancias espectrales de las lentes de contacto.

## Capítulo 4. Discusión

En primer lugar hemos de aclarar que el análisis e interpretación de los resultados obtenidos se fundamente en el criterio de la CIE para la distribución del espectro electromagnético, en concreto de la radiación UV, la interpretación de los mismos es susceptible a la elección de un criterio u otro, por ejemplo, para la AEMET el UV comienza a partir de longitudes de onda inferiores a los 400nm [17].

### Lentes oftálmicas

La lente STYLIS posee una curva de transmitancia con menor pendiente que la ORMIX, Figura 9, esto supone una menor transmitancia a la luz azul del espectro visible. También podemos observar como el antirreflejante de la lente STYLIS supone una menor transmitancia dentro del espectro visible, en comparación con la lente ORMIX que no lleva ningún tipo de tratamiento.

Identificamos una dependencia entre el material de fabricación de las lentes, el cual condiciona las propiedades de las mismas como su  $n$ , densidad... y la transmitancia a la radiación, independientemente de los tratamientos que se apliquen en las lentes.

### **Gafas de distinta categoría solar**

La protección que ofrecen las lentes solares al UV, no depende del tono de la lente, como se observa en la Figura 8 y 11, si no de su material de fabricación en mayor medida. El tono de lente condicionará la transmitancia de la radiación visible.

Se observa cómo en función de la categoría solar, las lentes permiten un mayor o menor paso del UV-A, será necesario escoger unas lentes de categoría solar 3 o C para obtener una protección considerable ante esta radiación, comprendida entre los 315nm y 380nm, ya que la categoría anterior 2 o B deja pasar en torno al 20-30% de esta radiación y aumentará según descendemos en las categorías.

### **Gafas de Sol comercializadas**

Debemos hacer hincapié en la importancia de utilizar lentes de protección solar homologadas, preferentemente orgánicas frente a las minerales, ya que como hemos comprobado no son tan eficientes frente a la radiación UV; como observamos en la Figura 11, las lentes que no cumplen la normativa *UNE-EN ISO12312-1:2013/A1:2015*, no garantizan una protección total al UV. Es cierto que la transmitancia a la radiación en el rango del UV es mínima en el caso de las lentes no homologadas, <5%, pero hemos de tener en cuenta que a la hora de llevar estas lentes, se produce una midriasis pupilar como consecuencia de la disminución de radiación visible percibida, esto conlleva una mayor exposición a la radiación UV de los medios oculares que se encuentran por detrás del iris, entre ellos la retina, fundamental para la visión.

### **Lentes de contacto**

En cuanto a las LC que ofrecen un filtro UV, debemos recalcar que la protección que aportan no es del 100%, es cierto que bloquean por completo la radiación UV-B, que es la radiación más dañina que nos llega del Sol, pero dejan pasar una gran parte del UV-A la cual también puede desencadenar la aparición y progresión de distintas patologías oculares, es por ello que llevar este tipo de LC no nos exime de utilizar unas lentes de protección solar que garanticen una protección al UV del 100%.

Por último, surge la duda de cuándo debemos protegernos de la radiación UV:

Según la EPA [19], se recomienda utilizar lentes de protección solar a partir de situaciones de índice ultravioleta  $UVI \geq 2$ , situación de bajo peligro ante la radiación UV en una persona promedio. Pero encontramos personas con situaciones particulares en las que se recomienda una mayor protección a esta radiación. Entre ellas cabe destacar: aquellas personas que presenten un comienzo de cataratas, degeneraciones maculares, pterigium, pinguécula, afaquia o pseudoafaquia; aquellos sujetos que se estén medicando con sulfonamidas, tetraciclinas, diuréticos, medicamentos para la hipoglucemia o anticonceptivos orales entre otros tantos. También cabe destacar aquellas personas que en su puesto de trabajo están expuestas fuentes radiación UV como soldadores, dentistas que trabajan con lámparas de UV [9]...

## Capítulo 5. Conclusiones

En primer lugar hablaremos de la protección que ofrecen las lentes de contacto (LC) al UV. Hemos comprobado que realmente existe un filtro ante esta radiación, el cual absorbe por completo la radiación UV-B, pero permite el paso de una gran cantidad de radiación UV-A, por ello consideramos que se debería implementar esta información en la comercialización de las LC con filtro al UV. Por otra parte, consideramos que toda protección adicional frente al UV es buena, pero portar este tipo de LC no exime al usuario de necesitar unas lentes de protección solar que garanticen una protección frente al UV y que protejan el resto de estructuras oculares, como los párpados, conjuntiva, esclera...

A la hora de escoger unas lentes de protección ocular, no deberemos confundir la categoría de protección solar o absorción a la luz visible, relacionada con el tono de la lente, con la protección de las mismas a la radiación UV, esta dependerá de los materiales utilizados en su fabricación y de los tratamientos que haya recibido la lente posteriormente. La garantía de que las lentes elegidas nos protegerán adecuadamente de la radiación UV vendrá indicada por el *MARCADO CE*, el cual deberá ser visible, legible e indeleble y nos garantizará que las lentes cumplen con todos los requisitos legales y de seguridad para ser comercializadas en la UE [18], entre ellos el cumplimiento de la normativa *ISO12312-1:2013/A1:2015*. La elección del tono de la lente será libre y subjetiva, acorde a la sensibilidad del usuario a la luz solar, a excepción de la categoría 4 o D, indicada para alta montaña o situaciones de extrema luz solar como en el desierto, ya que está prohibido conducir con ellas.

## Bibliografía

- [1] McCluney W. Radiometers and Photometers. En: McCluney W. Introduction to Radiometry and Photometry. Boston-London. Artech House. 1994.
- [2] Hetch E. Teoría electromagnética, fotones y luz. En: Hetch E. Óptica. Madrid. ADDISON WESLEY IBEROAMERICANA, S.A. 2000
- [3] Commisiion Internationale de L´Eclairage. <https://cie.co.at/> (6 de mayo de 2021).
- [4] Artigas Verde J. Lentes de protección ocular. En: Artigas Verde J. Óptica Oftálmica II. (<https://www.uv.es/artigas/Opt%20Oftal%20II/Tema%20V-Resumen.pdf> (27 de abril de 2021)
- [5] IDEAM. Generalidades de la radiación UV. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta> (2 de mayo de 2021).

- [6] Guisasola L. Lentes de protección a las radiaciones. <http://www.etpcba.com.ar/DocumentosDconsulta/OPTICA/TECNOLOG%C3%8DA%20%C3%93PTICA/OP00606C.pdf> (27 de abril de 2021).
- [7] R. M. Lucas; S. Yazar; A. R. Young; Norval; F. R. de Gruijl; Y. Takizawa; L. E. Rhodes; C. A. Sinclair and R. E. Neale. Human health in relation to exposure to solar ultraviolet radiation under changing stratospheric ozone and climate. *Photochem Photobiol Sci* 18(3), 641-680, 2019, doi: 10.1039/c8pp90060d
- [8] Valdivielso Rodrigo I. Medida de la absorción de la radiación UV en lentes oftálmicas y otros materiales. Universidad de Valladolid. 2017. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/38390> (1 de mayo de 2021)
- [9] Clifford W. Brooks; Irvin M. Borish. Absorptive Lens. En: Clifford W. Brooks; Irvin M. Borish. *System for ophthalmic dispensing*. Third Edition. St. Louis: Butterworth Heinemann Elsevier. 1996. 526-527.
- [10] C. M. Cabrera Morales; M. A. López-Nevo. Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. [https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-48352006000700003](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-48352006000700003) (1 de mayo de 2021).
- [11] FieldSpec® Pro User's Guide. Analytical Spectral Devices, Inc. <http://www.asdi.com/> (16 de mayo de 2021)
- [12] LI-180 Portable Spectroradiometer Instruction Manual. LI-COR, inc. Publication No. 8210-0030.
- [13] CooperVision®. <https://coopervision.es/profesionales> (10 de mayo del 2021)
- [14] Vademecum Informado de Contactología. [http://www.vademecumcontactologia.com/vic/usu\\_menu.php](http://www.vademecumcontactologia.com/vic/usu_menu.php) (19 de mayo del 2021)
- [15] ESSILOR PRODUCT INFORMATION 2020. <https://www.abdo.org.uk/wp-content/uploads/2019/09/2020-Essilor-Product-Information.pdf>
- [16] NORMATIVA PROTECCIÓN OJOS Y CARA. <https://docs.gestionaweb.cat/0766/ojosycara.pdf> (15 de mayo del 2021)
- [17] AEMET. Agencia Estatal de Meteorología. Interpretación: Radiación Ultravioleta (UVI). <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/radiacionuv/ayuda> (22 de mayo de 2021)
- [18] AECOSAN. Agencia española de consumo, seguridad alimentaria y nutrición. (12 de mayo del 2021) [https://www.mscbs.gob.es/consumo/redAlertas/docs/infografia\\_gafas\\_sol.pdf](https://www.mscbs.gob.es/consumo/redAlertas/docs/infografia_gafas_sol.pdf)
- [19] EPA. Agencia de protección ambiental de estados unidos. <https://espanol.epa.gov/espanol/escala-del-indice-uv> (14 de mayo del 2021)