

# **MEMORIA DE LA TESIS DOCTORAL**

**CAPÍTULO 1. ESTADO DE LA TÉCNICA Y  
OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL**

## 1.1. ESTADO DE LA TÉCNICA Y JUSTIFICACIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA TESIS

### 1.1.1. El sol y el hombre: breve historia

Desde hace miles de años, el sol y la luz se han considerado como divinos, elementos fundadores y preservadores de la vida. En Egipto, en la Grecia antigua, en Roma, el sol fue adorado como un dios. Sus propiedades curativas se mencionan en el Talmud y en el libro de Moisés. Los Brahmines lo consideraron como el agente de la vida y el principio del pensamiento. Incluso hoy en día aún permanecen numerosos cultos al sol como una universal fuerza activa que se relaciona con el cuerpo celeste <sup>(1, 2)</sup>.

Sin embargo, sus efectos adversos también han sido conocidos a lo largo de la historia del hombre. Ya los egipcios en el año 2000 a.C. daban una gran importancia al cuidado de la piel y usaban un gran número de ungüentos, perfumes y aceites fragantes en un intento de protegerla de los daños conocidos y temidos producidos por la luz solar. En la antigua Grecia, los médicos recetaban la helioterapia como remedio contra diferentes enfermedades y para facilitar la curación de fracturas de huesos. Sin embargo, también advertían de que “una excesiva exposición al sol podía provocar una obstrucción de los poros de la piel debida a un espesamiento de los fluidos, especialmente de la flema, con lo que se produciría una rotura en el balance de los movimientos de fluidos en el cuerpo”. El médico griego Dioskurides (54-68 d.C.) en su manual de farmacología, incluye composiciones para el tratamiento del eritema y prevención de las quemaduras solares. También en la antigua Roma, Cornelius Celsus (25 a.C.-50 d.C.) recomienda en su enciclopedia que se usen aceites, que los movimientos sean moderados y que se cubra la cabeza para proteger a la piel del sol.

La ciencia medieval no aportó nada nuevo a los conocimientos antiguos sobre los efectos favorables y dañinos del sol. La helioterapia no fue un tratamiento importante ya que, en general, la piel pálida era mucho más valorada que la piel bronceada. La palidez de la piel era un símbolo de estatus de la persona, indicaba riqueza y que no tenía necesidad de trabajar al aire libre. A pesar de que no era moda, uno de los principales médicos de la Edad Media, Avicenna (973/980-1037), mantuvo la helioterapia como un tratamiento médico que producía “una beneficiosa purgación de los humores”, advirtiendo también de los peligros de un uso excesivo porque “la sobreexposición al sol podría provocar el efecto contrario, es decir, una obstrucción en los poros de la piel”.

Al final del siglo XV hubo un cambio en las creencias sobre los baños de sol. Sólo la aparición del eritema era síntoma evidente del éxito del tratamiento, si la erupción de la piel no aparecía se consideraba que la cura había sido un fracaso. Los efectos adversos de los baños de sol tampoco fueron considerados importantes en la Edad de las Luces, cuando las doctrinas de Jean-Jacques Rousseau (1712-1778) empezaron un primer



movimiento naturalista, reanimando la antigua confianza en el poder sanador de la naturaleza con luz, aire y agua. A pesar de que fueron apareciendo estudios en los que se relacionaban algunos efectos adversos en la piel debidos a la acción de la luz solar, la confianza en la helioterapia como tratamiento se fue imponiendo más y más. Desde la mitad del siglo XIX se establecieron numerosos sanatorios, donde se combinaba la terapia con agua tradicional y el tratamiento dietético, con la helioterapia y el nudismo <sup>(1)</sup>.

Desde la revolución industrial, el bronceado pasó a ser un símbolo de estatus entre los Caucasianos. Con la industrialización, se empezó a considerar un signo de abundancia de tiempo libre para dedicar a otras actividades. El bronceado como un signo de moda empezó en los años 40 promovido por Coco Chanel. Y, aunque el tratamiento mediante helioterapia ha ido dando como resultado numerosos informes acerca de los peligros de daño en la piel causados por la exposición al sol, la creencia de la exposición al sol como cura-todo ha persistido en el tiempo y la popularidad del bronceado como un símbolo de salud, posición económica y moda ha crecido sin parar desde el final de la segunda Guerra Mundial. Sólo recientemente, debido a un rápido crecimiento de los índices de cáncer de piel y la depreciación de la capa de ozono, ha habido un intento de invertir su popularidad <sup>(3)</sup>. De todas formas, la campaña ha sido difícil ya que, a pesar de conocer los riesgos de la sobreexposición, sigue el deseo general de la población por tener una piel bronceada que se continúa considerando que da un aspecto más saludable y atractivo.

Nuestro país tiene un clima soleado que invita a salir y disfrutar de la vida al aire libre tomando baños de sol y practicando deportes de todo tipo. Por otra parte hay muchas actividades laborales que se realizan a la intemperie donde las personas están expuestas a muchas horas de sol. Y, aunque cada vez existe mayor concienciación de la necesidad de protección de la piel frente a la radiación solar, generalmente se piensa en la protección cuando la piel no está cubierta por una prenda. Así, todo el mundo habla del factor de protección de las cremas solares pero casi nadie piensa en la protección que le proporcionan las prendas de vestir. Las prendas, en particular cuando se trata de tejidos ligeros, no ofrecen tanta protección solar como en general se cree, la piel puede no estar suficientemente protegida a pesar de estar cubierta con una prenda de vestir.

Las investigaciones científicas sobre la protección de la piel por los textiles son relativamente recientes. El factor de protección solar, generalmente suele representarse por SPF (Sun Protection Factor) y, por definición se determina *in vivo*. La protección solar ofrecida por un tejido depende, como se verá más adelante, de un gran número de variables, por lo que las determinaciones *in vivo* requerirían de un ingente número de individuos de prueba. Lógicamente, para los artículos textiles resultan más adecuadas las determinaciones *in vitro* en que se utilizan equipos que determinan la transmitancia espectral difusa en el rango de longitudes de onda del ultravioleta, deduciéndose el factor de protección a partir de ella. El factor de protección de un tejido determinado *in vitro* suele representarse como UPF (Ultraviolet Protection Factor).



## 1.1.2. La radiación ultravioleta

Aunque existen diferentes fuentes artificiales que emiten radiación ultravioleta, la fuente más importante de este tipo de radiación es el sol. La luz solar es la energía responsable de la vida en la tierra. Su espectro abarca de 280 a 3000 nm a nivel del mar. La radiación no visible en el rango de longitud de onda de 100 a 400 nm se conoce como radiación ultravioleta, UVR. De acuerdo con la CIE (Commission International de l'Eclairage) dicha radiación se divide en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) y UVC (100-280 nm).

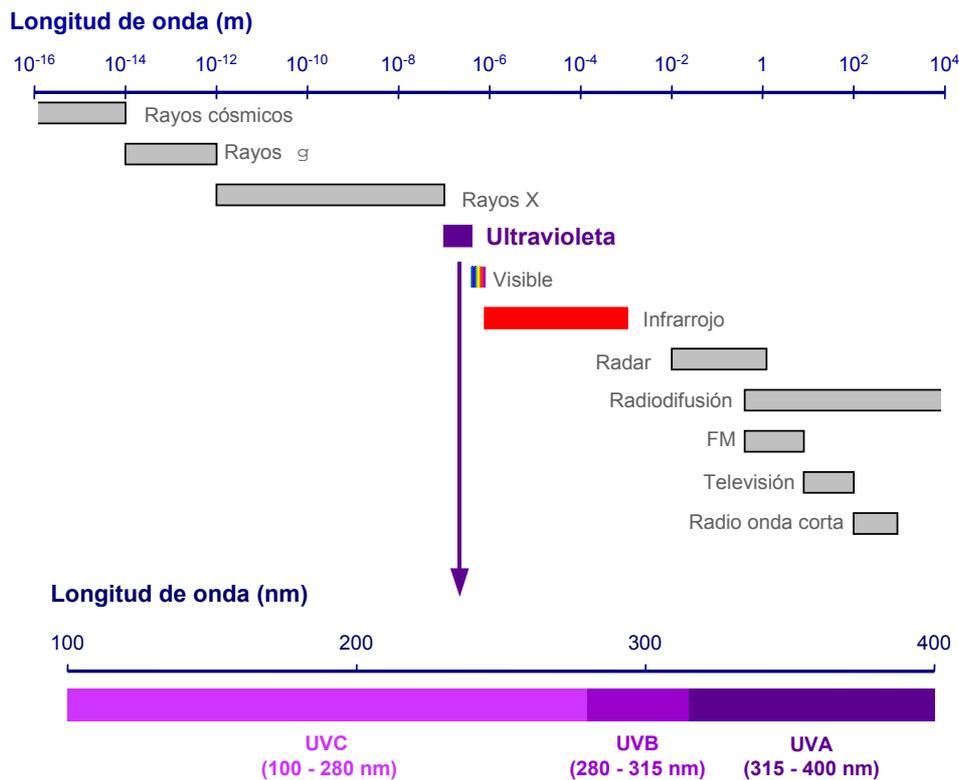


Figura 1.1. Espectro de radiación magnética y radiación ultravioleta

La atmósfera terrestre absorbe parte de esta radiación, de forma que la proporción de radiación que llega a la superficie de la Tierra varía según la longitud de onda de la radiación (4, 5, 6):

- La radiación UVC es completamente absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, por lo que no llega a la superficie terrestre. La radiación por debajo de  $\sim 175$  nm es absorbida por el oxígeno en las capas altas de la atmósfera, por encima de los 100 Km. La radiación entre 175 y 290 nm es filtrada por la capa de ozono de la estratosfera y por el vapor de agua y dióxido de carbono.
- La radiación UVB es parcialmente absorbida por la capa de ozono, llegando a la superficie terrestre un 5% de la radiación emitida por el sol. Entre 300 y 350 nm la absorción de la radiación por parte del ozono decrece exponencialmente al aumentar la longitud de onda. Por ello se produce un rápido incremento en la radiación solar



que llega a la superficie terrestre a medida que aumenta la longitud de onda de la radiación UVB entre 290 y 315 nm.

- La radiación UVA es muy poco absorbida por la capa de ozono, llegando a la superficie terrestre hasta un 95% de la radiación emitida por el sol. La absorción por parte del ozono tiene muy poco impacto en la intensidad de la radiación que llega a la superficie terrestre en el rango de longitudes altas del UVA.

Está científicamente demostrado que la intensidad de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la tierra es mucho mayor ahora que hace unos años. Ello significa que en las mismas horas de exposición al sol nuestra piel recibe hoy mucha más radiación.

Está también demostrado que la disminución de la capa de ozono hace que aumente la radiación ultravioleta que llega a la tierra ya que el ozono es un absorbente muy efectivo de este tipo de radiación sobretodo en la zona de los UVB.

### **1.1.3. Efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel**

Desde que en los años 20 se produjera un cambio en el estilo de vida y en los patrones estéticos, se ha ido incrementando notablemente el tiempo que pasamos al aire libre y, por tanto, la exposición de nuestra piel a la radiación solar. La exposición a mínimas dosis de sol es beneficiosa para el organismo ya que contribuye al desarrollo de los huesos, asimilación de vitaminas, etc. Pero una exposición prolongada incrementa el riesgo de daño permanente a la piel causado por la radiación ultravioleta. La radiación ultravioleta es el único factor en el que se ha demostrado una relación directa con el cáncer de piel, provocando además otros problemas para la salud, como eritemas, fotoqueratinitis, cataratas, envejecimiento prematuro de la piel, etc.

La piel está compuesta por dos capas principales y varias clases de células.

- La capa externa de la piel se llama epidermis y contiene tres clases de células: células planas en forma de escamas en la superficie llamadas células escamosas, células redondas llamadas células basales y unas células llamadas melanocitos que le dan el color a la piel.
- La capa interna de la piel se llama dermis, es más gruesa y contiene vasos sanguíneos, nervios y glándulas sudoríferas. El vello también crece en la dermis, en unas bolsas llamadas folículos. La dermis produce el sudor, que ayuda a enfriar el cuerpo, y aceites que evitan que se reseque la piel.

La energía correspondiente a la radiación ultravioleta es superior a la energía de la radiación visible. Recordemos que la energía de una radiación es inversamente proporcional a su longitud de onda:



$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

E: energía  
 h: constante de Planck  
 c: velocidad de la luz  
 $\lambda$ : longitud de onda

Según la ecuación anterior, también se puede deducir que la energía correspondiente a la radiación UVC será mayor que la correspondiente a la UVB y ésta a su vez será mayor que la correspondiente a la radiación UVA. Así pues, el efecto de la radiación ultravioleta sobre la piel humana varía en función de la longitud de onda de la radiación <sup>(4, 5, 6)</sup>:

- El efecto de la radiación UVC es letal para el ser humano (afortunadamente este tipo de radiación ultravioleta no llega a la superficie de la Tierra).
- Los efectos inmediatos de la radiación UVB sobre el ser humano son beneficiosos, ya que produce una acción calórica y una acción antirraquítica, necesaria para la síntesis de la vitamina D. Sin embargo, una sobreexposición puede producir efectos a corto plazo, que pueden ir desde quemaduras hasta el incremento del grosor de la piel y la formación creciente de melanina, que contribuyen al envejecimiento prematuro de la piel. Más graves son los efectos crónicos de esta radiación que incluyen el cáncer de piel y los daños en el ADN de las células, que afectan al sistema inmunitario. Se pueden producir también otros efectos colaterales: reacciones de fotosensibilidad, reactivación de algunas enfermedades de la piel (herpes) y problemas en la vista (cataratas precoces).
- Como efectos inmediatos, la radiación UVA ejerce una acción calórica y produce una pigmentación rápida de la melanina que ya existe en la piel. Una sobreexposición a esta radiación produce efectos crónicos y colaterales similares a los producidos por la radiación UVB, aunque las dosis necesarias para producirlos son mayores.

La radiación UVA penetra en la dermis y alcanza el corium y el tejido conectivo y provoca una desnaturalización de la elastina, afectando al envejecimiento de la piel. La radiación UVB raramente atraviesa la piel y tiene efectos sólo en la epidermis. Por ello, es responsable de los daños más puntuales como las quemaduras o erupciones. Pero más importante es el hecho de que la radiación UVB estimula nuevos vasos en la piel y si esto ocurre bajo tumores como carcinomas escamosos, puede inducir indirectamente el crecimiento de tumores y su expansión. También se asume que la radiación por debajo de 320 nm (UVB) es la causante de daños en el ADN, aunque no debe subestimarse el efecto causado también por la radiación UVA (como tradicionalmente ha venido pasando). Una exposición muy alta a la radiación UVA (producida por exposición en presencia de una crema bloqueadora de la radiación UVB o bien por exposición a lámparas UVA), puede producir también lesiones en el ADN y mutaciones de la piel humana <sup>(3)</sup>.



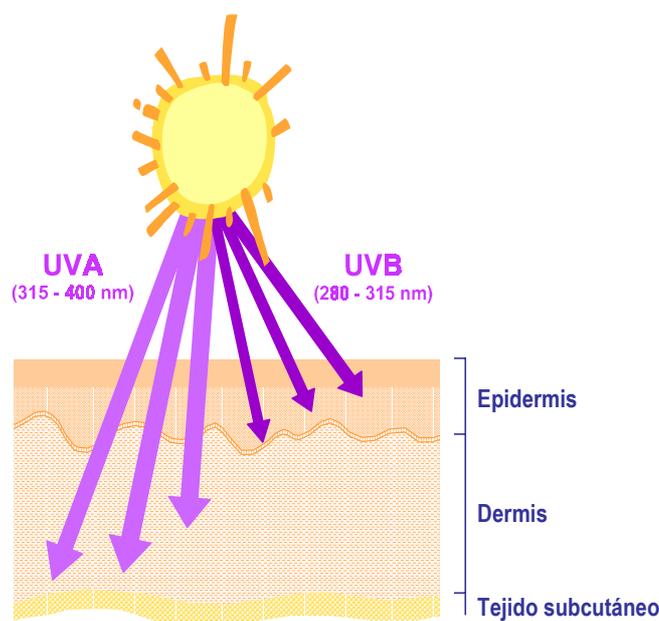


Figura 1.2. Penetración de la radiación ultravioleta en la piel

La enfermedad más grave que se ha relacionado con la sobreexposición a la radiación ultravioleta es el cáncer de piel. La incidencia del cáncer de piel ha ido en aumento en las últimas décadas, siendo uno de los tipos de cáncer más corriente. Aunque es difícil determinarlo, los expertos estiman que el incremento de melanomas malignos coincidió con el momento en que se impuso la moda del bronceado. El efecto no es inmediato y por suerte no todas las personas expuestas a grandes dosis de radiación solar desarrollarán una enfermedad grave, pero las estadísticas señalan una mayor incidencia de melanomas en personas de piel clara, siendo las áreas de la piel más afectadas las expuestas al sol (95%). Son muchos los factores responsables del cáncer de piel. Uno de los más importantes es que los efectos de la radiación ultravioleta en la piel de las personas son acumulativos a lo largo de los años y puede llegarse a un punto en que pequeñas cantidades produzcan daños irreversibles.

No olvidemos que el bronceado es un mecanismo de defensa de la piel. La piel protege al cuerpo contra el calor, la luz, infecciones y lesiones. Además, almacena agua, grasa y vitamina D. Los rayos ultravioletas atraviesan la piel y llegan a las células vivas, inflamándolas y produciendo quemaduras. En un esfuerzo por evitar el futuro daño, los melanocitos que se encuentran en la epidermis, generan un pigmento llamado melanina que es el responsable de dar un aspecto moreno a la piel y de protegerla de la radiación ultravioleta. Pero el daño se acumula año tras año hasta que se produce una alteración en el ADN de un melanocito. La célula dañada sobrevive y se reproduce, extendiendo el daño a zonas adyacentes y provocando la aparición del cáncer de piel.

El cáncer de piel es una enfermedad en la que se encuentran células cancerosas o malignas en las capas exteriores de la piel. Hay varios tipos de cáncer que se originan en la piel:



- Cánceres de piel no-melanoma: estos tipos de cáncer son los más comunes y menos peligrosos, ya que la mayoría pueden curarse, generalmente por cirugía, aunque también pueden tratarse mediante quimioterapia tópica o radioterapia.
  - Cáncer de células basales: se desarrolla en la capa basal de la epidermis y crece muy despacio. Puede diseminarse a los tejidos alrededor del cáncer pero, por lo general, no se disemina a otras partes del cuerpo. Crece siempre en áreas de la piel expuestas al sol y generalmente en personas ancianas. Se cura en un 97% de los casos.
  - Cáncer de células escamosas: se desarrolla en la capa espinosa de la epidermis. Crece más rápidamente que el cáncer de células basales y puede diseminarse a los ganglios linfáticos, cuya función es producir y almacenar células que combaten la infección. Se desarrolla generalmente en gente anciana en áreas precancerosas de la piel, expuestas a menudo a la radiación solar. Si se trata a tiempo, se consigue la total recuperación en el 95% de los casos.
- Melanoma: el melanoma es un cáncer en el que se encuentran células cancerosas en los melanocitos. La mayoría de las veces, el melanoma se expande horizontalmente, mientras no se generalice, pero después se desarrolla un crecimiento rápido hacia capas más internas, pudiéndose diseminar rápidamente por metástasis a otras partes del cuerpo y órganos a través del sistema linfático y la sangre. Es el tipo de cáncer de piel más grave. Puede ocurrir sin la influencia de la luz solar, pero a menudo se produce después del daño en la piel causado por sobreexposición a la luz solar. Una sobreexposición a la radiación ultravioleta hasta los 15 años de edad, que va acompañada de una o más quemaduras severas, es la causa más frecuente de aparición de SSM (melanoma de extensión superficial) y de NM (melanoma nodular) cuando se alcanzan los 20 a 40 años. Otro factor importante es el número de lesiones pigmentadas y lunares. La gente con un gran número de lunares tiene un alto riesgo de desarrollar melanomas. Un lunar congénito que crezca por encima de 1,5 cm, tiene una probabilidad del 6% de volverse maligno después de los 18 años <sup>(3, 7)</sup>.

Más de la mitad de los cánceres de piel que se detectan en España son melanomas de extensión superficial, afecciones típicas de las personas que han tomado el sol de manera intermitente. Se da en mayor proporción (62%) en mujeres de edad media, con más incidencia en los hombros y en las piernas <sup>(6)</sup>. Los melanomas de extensión superficial son melanomas en su primera etapa de desarrollo y pueden ser tratados mediante cirugía menor. Cuando el melanoma se extiende hacia las capas interiores, la cirugía no es suficiente, debiéndose completar el tratamiento con quimioterapia y radioterapia <sup>(7)</sup>.

Las tasas de incidencia de los melanomas tienen relación con el tipo de piel de cada individuo. El no intencionado experimento del Imperio Británico en 1786, cuando los



prisioneros eran deportados a Australia, ha proporcionado información para las experiencias actuales acerca del tipo de piel y la predisposición individual a desarrollar un cáncer de piel. Los australianos blancos de origen británico tienen el mayor índice del mundo de susceptibilidad de desarrollar un cáncer de piel (en Australia se da el 50% del total de casos de cáncer de piel), no sólo mucho mayor que el índice en las Islas Británicas, sino también mucho mayor que el de los nativos australianos. Por lo tanto, parece claro que el color de la piel tiene una importante influencia en el desarrollo del cáncer de piel <sup>(3)</sup>. Los fototipos cutáneos se han establecido en función de la susceptibilidad de la piel a sufrir daño por la acción solar. Se clasifican en seis grupos que mediante la numeración del 1 al 6 distingue los diferentes patrones de piel (Figura 1.3). Los números más bajos corresponden a las personas de piel más clara y los números más altos a las de piel oscura y por tanto con mayor protección contra la radiación ultravioleta <sup>(6)</sup>.



Fototipo	I	II	III	IV	V	VI
<b>Piel</b>	Blanca	Blanca	Blanca	Blanca/morena	Amarronada	Negra
<b>Pelo</b>	Albino/Rubio	Rubio/pelirrojo	Castaño	Oscuro	Oscuro	Oscuro
<b>Ojos</b>	Azules/verdes	Azules/verdes	Pardos	Oscuros	Oscuros	Oscuros
<b>Quemaduras</b>	Intensas	Fácilmente	Moderadas	Poco	Raras veces	Nunca
<b>Bronceado</b>	Nunca	Con dificultad	Ligero	Fácil	Fácil e intenso	Intenso
<b>Tiempo de protección natural</b>	5-10 min.	10-20 min.	20-30 min.	~ 45 min.	~ 60 min.	~ 90 min.

Figura 1.3. Fototipos cutáneos

Expertos en dermatología y cáncer de piel aconsejan protegerse de cantidades excesivas de luz ultravioleta. Esto puede hacerse de muy distintas formas, usando cremas solares, sombreros, etc. Entre la serie de medidas que proponen para reducir los riesgos, varias organizaciones entre las que se encuentra la Organización Mundial de la Salud, recomiendan el uso de prendas con factor de protección elevado, que no se adhieran al cuerpo y que lo cubran completamente <sup>(4, 5, 8, 9)</sup>. Pero hay que preguntarse si todos los tejidos protegen suficientemente.

A pesar de que hace años que se viene hablando de la protección de los tejidos a la radiación ultravioleta, existe aún un gran desconocimiento del público en general. Tampoco hay mucha gente en la industria textil que entienda completamente los detalles.



Se intuye que los artículos textiles proporcionan protección y se cree que ésta es la adecuada. Sin embargo, numerosos estudios han concluido que la mayor parte de las prendas ligeras de verano o para uso deportivo, no proporcionan una protección suficiente. De uno de los primeros estudios efectuado en Australia midiendo 250 tejidos de verano se vio que en el 50% de los tejidos, el factor de protección solar era menor que el correspondiente a una crema con factor de protección 15 <sup>(10)</sup>.

#### 1.1.4. Factor de protección a la radiación ultravioleta de artículos textiles

El grado de protección que un elemento proporciona frente a los efectos adversos de la luz solar es comúnmente conocido como factor de protección solar. Se define como la razón entre el tiempo umbral para causar un eritema cuando está presente un elemento de protección y el tiempo umbral para causar el mismo efecto cuando no hay ningún tipo de protección. Si una persona puede permanecer 10 minutos expuesta al sol hasta que su piel se enrojece, utilizando una crema o tejido con un factor de protección de 15 podrá permanecer 150 minutos en exposición hasta que se produzca el enrojecimiento <sup>(11)</sup>.

##### 1.1.4.1. Técnicas de determinación del factor de protección a la UVR

El factor de protección solar se puede determinar mediante técnicas *in vivo* o *in vitro*.

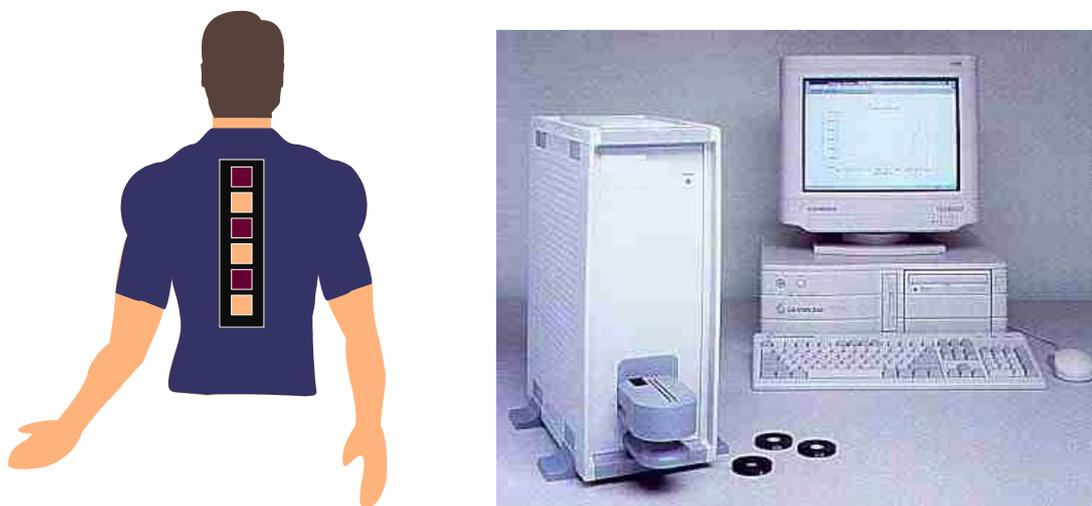


Figura 1.4. Determinación del UPF de un tejido mediante técnica *in vivo* y técnica *in vitro*

El método *in vivo* requiere un número considerable de personas que se sometan a ensayo, una por cada determinación individual del factor de protección de una crema o un tejido. Se basa en aplicar sobre un área en la espalda de cada individuo, una capa de crema de espesor determinado o bien una muestra de material textil. Esta área y una área adyacente de piel no protegida se irradian con una lámpara estándar de espectro similar al de la luz solar. El SPF (factor de protección solar) se determina dividiendo el tiempo que se necesita para que se produzca un enrojecimiento en la piel protegida por el tiempo que se necesita para que se produzca el enrojecimiento en la piel no protegida.



Para una medida fiable del factor de protección *in vivo* se requiere un número suficientemente representativo de individuos que se sometan al ensayo, ya que el SPF medido así depende mucho del tipo de piel de cada individuo. También se requiere personal especializado que pueda determinar visualmente el momento en el que la piel se ha enrojecido sin introducir un error considerable. Estos factores inciden negativamente en la rapidez, reproducibilidad y objetividad del método.

La técnica *in vitro* se basa en la medida de la transmisión de la radiación ultravioleta a través del tejido o crema, que se cuantifica mediante un espectrofotómetro debidamente adaptado. La técnica no requiere personas que se sometan a ensayo y la medida se puede realizar fácilmente y en pocos segundos. La objetividad y reproducibilidad del método es mucho mayor, ya que el resultado no depende de la observación visual del experto, ni del tipo de piel de cada individuo.

Varios autores han comparado los resultados obtenidos mediante ambas técnicas de medición. En el caso de la medida del factor de protección de cremas, algunos autores han encontrado grandes discrepancias, que pueden ser debidas a la dificultad en la elección de un soporte, que imite a la piel adecuadamente, sobre el que se aplica la crema para la medición según la técnica *in vivo*. Sin embargo, cuando se trata de la medición de tejidos, los resultados obtenidos mediante ambas técnicas son muy similares (10, 12, 13).

Por todas estas consideraciones, la medición del factor de protección a la radiación ultravioleta de cremas se suele realizar tanto con la técnica *in vivo* como con la técnica *in vitro*, mientras que la medición del factor de protección de tejidos se realiza fundamentalmente mediante la técnica de medición *in vitro*.

#### **1.1.4.2. Determinación del UPF mediante técnicas *in vitro***

Siendo esta técnica la más ampliamente utilizada en el sector textil y la que se utilizará para el desarrollo de la tesis doctoral, este apartado se centrará en la descripción de la técnica *in vitro* para la determinación del UPF de un tejido. En primer lugar, se tratarán los factores que intervienen en la determinación del UPF mediante la fórmula de cálculo del método *in vitro*. A continuación se expondrá un breve resumen de la normativa existente en varios países para la determinación del factor de protección solar mediante esta técnica.

##### **1.1.4.2.1. Factores que intervienen en la determinación *in vitro* del UPF de un tejido**

La determinación del UPF de un tejido mediante técnicas *in vitro* se basa en irradiar una muestra con radiación ultravioleta y medir la cantidad de esta radiación que se transmite a través del tejido. Además de la medida de la transmisión a través del tejido, en el cálculo del UPF hay que tener en cuenta otros factores.



En primer lugar, no toda la radiación ultravioleta emitida por el sol llega a la superficie de la Tierra en la misma proporción, por lo que en el cálculo del UPF es necesario introducir un factor de corrección de la luz emitida por la lámpara, de forma que se simulen las condiciones reales de exposición. El factor que se introduce es el espectro de irradiancia solar.

Por otra parte, no todos los tipos de radiación ultravioleta causan el mismo efecto sobre el ser humano, por lo que se debe dar más peso a las radiaciones más perjudiciales y minimizar el efecto de las radiaciones más benignas. Esta corrección se realiza mediante la introducción en la fórmula del espectro de acción eritemal.

$$UPF_i = \frac{\sum_{\lambda=290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=290}^{400} E_{\lambda} \times S_{\lambda} \times T_{\lambda} \times \Delta\lambda}$$

$E_{\lambda}$ : espectro eritemal según CIE  
 $S_{\lambda}$ : irradiancia espectral solar  
 $T_{\lambda}$ : transmitancia espectral del tejido  
 $\Delta\lambda$ : anchura de banda en nm  
 $\lambda$ : longitud de onda en nm

Por lo tanto, son tres los factores que intervienen en la determinación del UPF de un tejido:

- **Transmitancia espectral:** que representa la cantidad de energía que se transmite a través del tejido en todo el rango de longitud de onda del ultravioleta.
- **Irradiancia espectral solar:** que es una función de la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la Tierra para cada longitud de onda.
- **Espectro de acción eritemal:** que es una ponderación de la acción de la radiación ultravioleta sobre la piel, en función de la longitud de onda

#### 1.1.4.2.1.1. Transmitancia de un tejido $T_{\lambda}$

El primer factor que interviene en la fórmula del UPF, y el más importante a tener en cuenta desde el punto de vista del tejido, es la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los artículos textiles.

Cuando un rayo de luz incide sobre una muestra textil, una parte de la radiación es reflejada, otra parte es absorbida por el material y el resto lo atraviesa y se transmite. Hay dos tipos diferentes de transmisión de la radiación ultravioleta: una parte es la transmisión directa, es decir, la radiación que pasa directamente a través de los poros del tejido, y una parte difusa, cuya distribución espectral puede ser alterada por una serie de parámetros del tejido que se detallaran posteriormente.



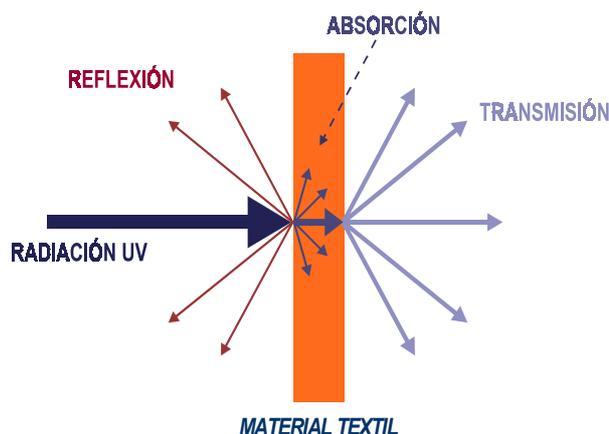


Figura 1.5. Reflexión, absorción y transmisión de radiación ultravioleta al incidir sobre un tejido

La transmitancia espectral directa y difusa puede medirse mediante el uso de un espectrofotómetro, que proporciona una fuente de luz ultravioleta, al que se le adapta una esfera integradora, después de la muestra, que recoge la luz difundida en todos los ángulos y la dirige a los fotodetectores. También ha aparecido recientemente en el mercado un nuevo instrumento específicamente diseñados para la medida de la transmitancia espectral difusa, denominado Analizador de Transmitancia Ultravioleta. Este aparato sitúa la fuente de iluminación en el interior de una esfera integradora, de forma que se irradia la muestra con radiación ultravioleta difusa. La radiación transmitida en la dirección perpendicular a la muestra se recoge en un monocromador, donde se separan las diferentes longitudes de onda y las dirige a los fotodetectores <sup>(14)</sup>.

El espectro de transmitancia siempre refleja el comportamiento de un tejido particular con determinadas características <sup>(15)</sup>. Diversos investigadores han llegado a la conclusión de que hay muchos parámetros que tienen una influencia significativa sobre la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los tejidos. Sin embargo, el único parámetro en el que todos están de acuerdo es el color del tejido. La influencia de otros parámetros como el tipo de fibra, el espesor del tejido y la porosidad, sobretudo en tejidos blancos o no teñidos aún está por resolver. El principal problema es que la caracterización de los tejidos (peso del tejido, espesor, título de los hilos, densidad de hilos y pasadas, ligamento, etc.) no se documenta en la mayoría de los artículos publicados. Muchas veces los estudios se han llevado a cabo sobre muestras industriales en las que todos los parámetros varían al azar, haciendo imposible extraer conclusiones que se puedan extrapolar a otros tejidos con diferentes características. Esto hace el análisis y la interpretación de la información disponible muy difícil y la replicación de los estudios imposible. Además, muchos de los artículos publicados contienen resultados que son contradictorios.

Los parámetros que parece que tienen alguna influencia sobre la medida del UPF de un tejido, según diversos autores, se exponen brevemente a continuación:



#### 1.1.4.2.1.1.1. El substrato

Muchos autores están de acuerdo en que el tipo de fibra es uno de los factores que tiene influencia sobre la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los tejidos <sup>(13, 16, 17, 18)</sup>. La estructura química de una fibra determina sus propiedades de absorción, de forma que materiales diferentes tienen diferentes espectros de absorción y absorben en mayor o menor grado la radiación de una cierta longitud de onda.

Algunos tipos de fibra son relativamente transparentes a la radiación ultravioleta. Según diversos investigadores, el algodón no tratado, la seda natural, las poliamidas y acrílicas, ofrecen sólo una pequeña absorción de la radiación ultravioleta. El poliéster tiene buena absorción de la radiación en longitudes de onda bajas pero menor en longitudes de onda altas, mientras que la lana posee una buena absorción de la radiación en todo el espectro ultravioleta <sup>(13, 15, 18)</sup>.

La influencia del tipo de fibra es más importante cuando se trata de tejidos blancos o no teñidos. Por ejemplo, tejidos blancos elaborados con algodón blanqueado y viscosa dan valores bajos de UPF. Un tejido de idéntica estructura pero elaborado con algodón crudo daría UPF más altos debido a los pigmentos, ligninas, etc. del algodón que actúan como absorbentes de la radiación ultravioleta. Los tejidos ligeros de algodón blanco, para prendas de verano, ofrecen UPF bajos, y su efecto protector frecuentemente es menor que el de una crema con SPF de 15 <sup>(10)</sup>. Sin embargo, esta fibra es la que ofrece el mayor confort en su uso y la más popular para prendas ligeras de verano.

Existen fibras artificiales y sintéticas que llevan incorporados productos que absorben la radiación ultravioleta. Inicialmente el objetivo era proteger a las propias fibras de la fotodegradación que les ocasiona la radiación, en especial para fibras destinadas a usos técnicos. Para ello se introducen pigmentos que son capaces de absorber y reflejar la luz. En particular, el dióxido de titanio, como pigmento blanco, es muy apropiado para estos fines debido a sus propiedades específicas como su alta reflectividad y absorción de la radiación ultravioleta. Es también muy utilizado en cremas solares ya que es un producto inocuo tanto desde el punto de vista ecológico como toxicológico. También el sulfato de bario, el óxido de zinc y otros pigmentos pueden ser materiales apropiados. La ventaja de la utilización de pigmentos en los textiles se basa en el hecho de que, en lo referente a fibras manufacturadas, se incorporan en la masa de las fibras y por tanto, están tan firmemente unidos a su estructura que no son eliminados en los lavados <sup>(19)</sup>.

Como ejemplos de fibras que llevan incorporados productos absorbentes de la radiación ultravioleta para proporcionar mayor protección a la piel se pueden citar algunas fibras artificiales celulósicas como Modal Sun (Lenzing), Enka Sun (Akzo Nobel), fibras de poliéster como Esmo (Kuraray), fibras de poliamida como Ultramid BS416N (BASF), Tactel aero (DuPont), Meryl UV Protection (Nylstar).



#### 1.1.4.2.1.1.2. La estructura del tejido

El parámetro estructural fundamental para la protección que proporcione un tejido es su porosidad (que vendrá determinada por el título del hilo, el ligamento del tejido y la densidad de hilos y pasadas en el caso de tejidos de calada o mallas y columnas en el caso de tejidos de punto). Cuanto más poroso más radiación atravesará el tejido a pesar de que estuviera fabricado con fibras que tengan buena absorción de la radiación ultravioleta.

Varios investigadores han señalado que la porosidad de los tejidos es el factor que más influencia tiene sobre la protección del tejido contra la radiación ultravioleta, por encima de otros factores como el tipo de fibra o el espesor <sup>(17, 18, 20)</sup>.

Cuando la radiación ultravioleta choca sobre un tejido puede encontrar una apertura o poro de la estructura del mismo y pasar sin tener ningún impedimento o puede encontrar fibras.

Para alcanzar un elevado factor de protección es necesario reducir la porosidad de un tejido, siendo aconsejable, según algunos estudios, que sea inferior al 3% <sup>(21)</sup>. Otros autores afirman que, en general, se estima que para conseguir UPF superiores a 15, el factor de cobertura deber ser mayor que el 93% y que por encima del 95% de factor de cobertura, un pequeño aumento de éste conlleva aumentos importantes en los valores del UPF <sup>(22)</sup>.

Un aumento en el factor de cobertura (o disminución en la porosidad) puede conseguirse, por ejemplo, aumentando la densidad del tejido pero, naturalmente esto representaría un aumento de peso, lo cual puede suponer un descenso de confort para prendas ligeras.

El tipo de tejeduría es otro factor importante que influye en la porosidad. Para tejidos del mismo peso, los tejidos a la plana suelen dar mejor protección que los de punto y en todos parece tener influencia el tipo de estructura.

Hay que tener en cuenta que el factor de cobertura puede modificarse por los diferentes procesos de acabado: por ejemplo un fijado en que se permita el encogimiento del tejido incrementará su factor de cobertura; el sanforizado o compactado que normalmente se aplica para conferir estabilidad dimensional, aumentará también el factor de cobertura.

Algunos investigadores también señalan que el espesor del tejido tiene influencia en la transmisión ultravioleta de los tejidos, aunque la mayoría no dan datos que corroboren esta afirmación, sino que parece ser una percepción intuitiva: cuanto más grueso es el tejido, más protección puede proporcionar. Uno de los estudios que contiene datos en cuanto al espesor señala que este parámetro tiene una influencia significativa en el factor de protección, aunque menor que el factor de cobertura <sup>(17)</sup>.



Como en el caso de la porosidad, si queremos aumentar el factor de protección mediante un mayor espesor implicaría un menor confort de los tejidos para su uso en prendas ligeras de verano o ropa deportiva.

#### 1.1.4.2.1.1.3. El grado de humedad del tejido

El valor del UPF de un tejido mojado puede ser significativamente diferente que el correspondiente al mismo tejido seco.

En general, el UPF de los tejidos de fibras celulósicas disminuye con la humedad. La celulosa es un material muy transparente a la radiación ultravioleta, de forma que dicha radiación no sólo pasa a través de los poros del tejido, sino también a través de la propia fibra. La presencia de agua en los intersticios del tejido reduce los efectos de dispersión de la luz, particularmente en la región ultravioleta, y por tanto aumenta la transmisión de la radiación a través del tejido. Puede establecerse una analogía con lo que sucede en cuanto al aumento de la transparencia cuando un tejido fino está mojado <sup>(10)</sup>.

#### 1.1.4.2.1.1.4. El color

La mayoría de los investigadores señalan que el uso de colorantes puede tener una gran influencia en el UPF de un tejido. Todos los colorantes textiles deben absorber radiación visible (400-700 nm) selectivamente para conseguir una percepción de color. Para todos ellos, la banda de absorción se extiende en mayor o menor grado a la región espectral de la radiación ultravioleta (290-400 nm) y, de esta forma, los colorantes pueden actuar como absorbentes de radiación ultravioleta <sup>(10, 16)</sup>. Esta absorción depende mucho de la estructura química del colorante y sobre todo de la intensidad del color: los colores oscuros y los intensos proporcionan mejor protección frente a la radiación ultravioleta <sup>(10, 16, 20, 23)</sup>. Sin embargo, normalmente se prefiere el uso de colores claros en las prendas de verano, debido a que absorben menos radiación en el IR y, por lo tanto, dan una mayor sensación de frescura.

En todo caso, la capacidad de protección de cada colorante es única y resulta difícil generalizar.

Otro factor importante es que si la protección frente a la radiación de un tejido depende de la presencia de los colorantes, éstos deben ser sólidos al lavado, a la luz, etc. para que el tejido teñido mantenga su factor de protección a lo largo de su vida útil.

#### 1.1.4.2.1.1.5. La presencia de blanqueadores ópticos

Los blanqueadores ópticos son un aditivo común para mejorar el blanco de los tejidos mediante la absorción de radiación en la región ultravioleta y su reemisión en longitudes de onda cortas del espectro visible. Como absorben radiación en el ultravioleta se razonó que estos productos añadidos durante el procesado textil podían mejorar las propiedades



de protección de los tejidos contra la radiación ultravioleta. Asimismo su uso en formulaciones de detergentes comerciales también permitiría mejorar la protección proporcionada por el tejido o al menos mantener el nivel inicial de bloqueo de la radiación después de lavados repetidos. Algunos estudios han señalado, sin embargo, que generalmente la presencia de un blanqueador óptico no es suficiente para conseguir un elevado UPF o bien el efecto producido por estos aditivos depende de otros factores como es el tipo de fibra <sup>(13, 24)</sup>.

Por otra parte hay que tener en cuenta que la aplicación de otros productos de acabado específicos para aumentar el UPF, puede afectar negativamente al grado de blanco de un tejido que lleve blanqueador óptico.

#### 1.1.4.2.1.1.6. La presencia de productos específicos de acabado

Los “absorbentes” o bloqueadores de la radiación ultravioleta son generalmente compuestos incoloros que absorben la radiación en la zona de 280-380 nm <sup>(13, 15, 18, 25, 26)</sup>. Se empezaron a utilizar hace varios años para proteger a plásticos, pinturas, fibras, etc. de la fotodegradación.

Estos productos con elevada absorción de la radiación en el rango del ultravioleta, pueden ser aplicados a las fibras de forma similar a una tintura o como productos de acabado y son, generalmente, el único medio de obtener elevados UPF en los tejidos de fibras naturales <sup>(13, 21)</sup>. Recientemente existen varias patentes relativas a métodos de acabado para la mejora de la protección de la piel que ofrecen los textiles frente a la radiación. Estos métodos consisten en:

- Aplicación de resinas cuya fórmula contiene productos absorbentes de la radiación ultravioleta.
- Aplicación de productos absorbentes de radiación ultravioleta por técnicas de tintura por agotamiento o pad-batch.

Los productos de acabado pueden ser aplicados en combinación con productos suavizantes, con productos hidro ú óleo repelentes o con otros tipos de resinas.

Algunos productos especialmente comercializados para la mejora del UPF de los tejidos son: Tinofast CEL (Ciba) para fibras celulósicas y poliamida, Tinofast PES (Ciba) para poliéster.

En la Figura 1.6 se representan esquemáticamente las diferentes posibilidades de mejora de la protección ultravioleta mediante la aplicación de productos a la fibra, ya sea en masa o en el proceso de ennoblecimiento.



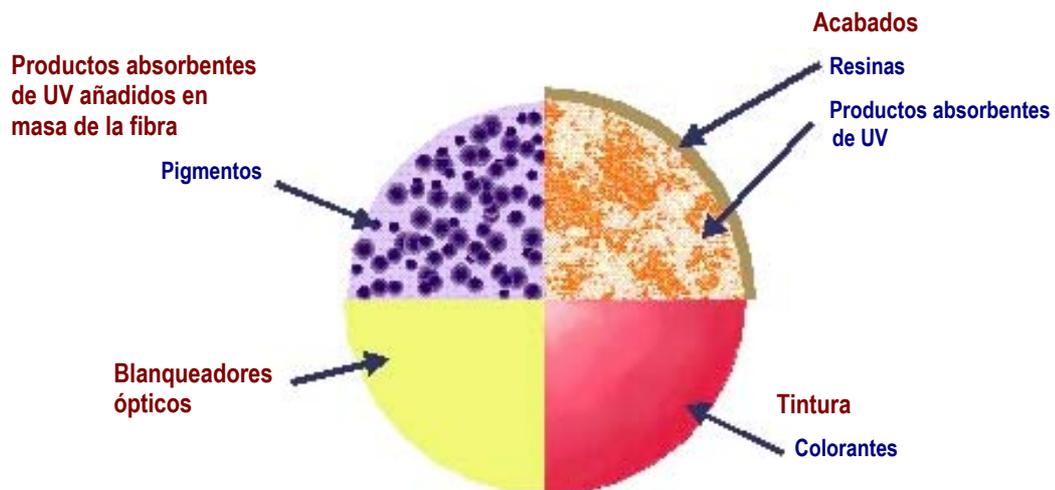


Figura 1.6. Productos añadidos a la fibra o al tejido que pueden influir en el UPF

En resumen, el gran número de variables que influyen en la medida de la transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos genera una gran variedad de espectros y permite diferentes posibilidades de actuación para la obtención de tejidos con factores de protección muy diferentes. En la Figura 1.7, se muestran algunos ejemplos de los espectros de transmisión que se pueden obtener para distintos tipos de tejidos. Se han elegido estos ejemplos como representativos ya que el cálculo de los valores de UPF correspondientes a dichos espectros conduce a valores crecientes, tal como se puede observar en la figura. Lógicamente, cuanto menor sea la transmisión de radiación ultravioleta mayor será la protección proporcionada por el tejido y, consecuentemente, mayor el valor del UPF.

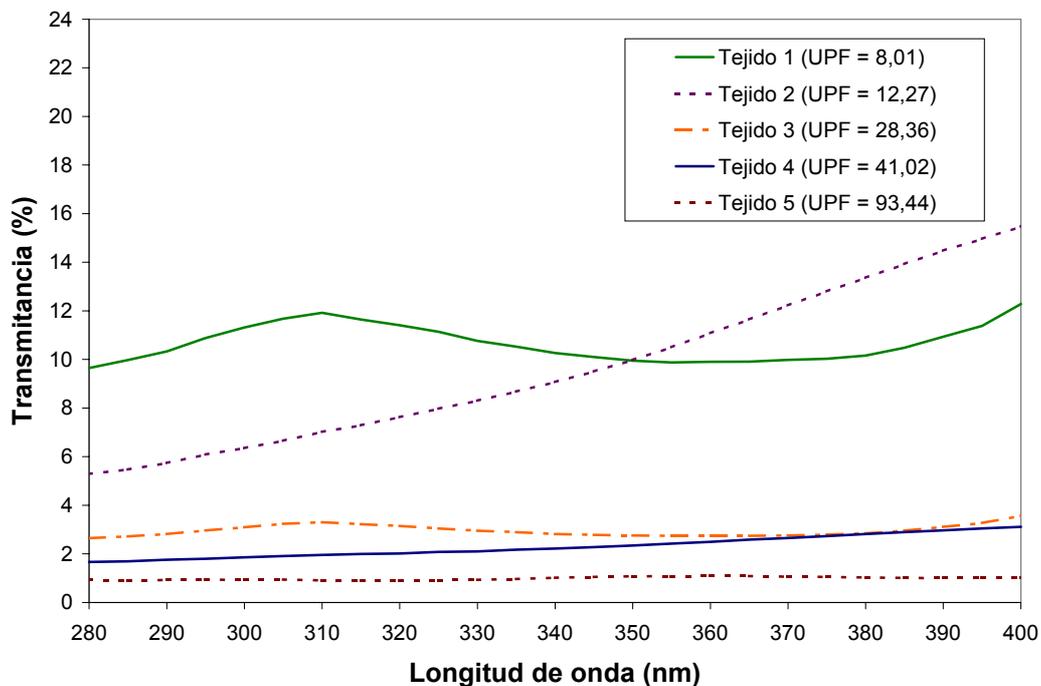


Figura 1.7. Espectros de transmitancia y UPF



1.1.4.2.1.2. Irradiancia espectral solar  $S_\lambda$

Otro factor que se incluye en el cálculo del UPF es la cantidad de energía de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra en función de la longitud de onda. Como se indicó anteriormente, no todas las longitudes de onda de la radiación ultravioleta alcanzan la superficie terrestre en la misma proporción. La cantidad de radiación depende de varios factores <sup>(4, 5, 8)</sup>.

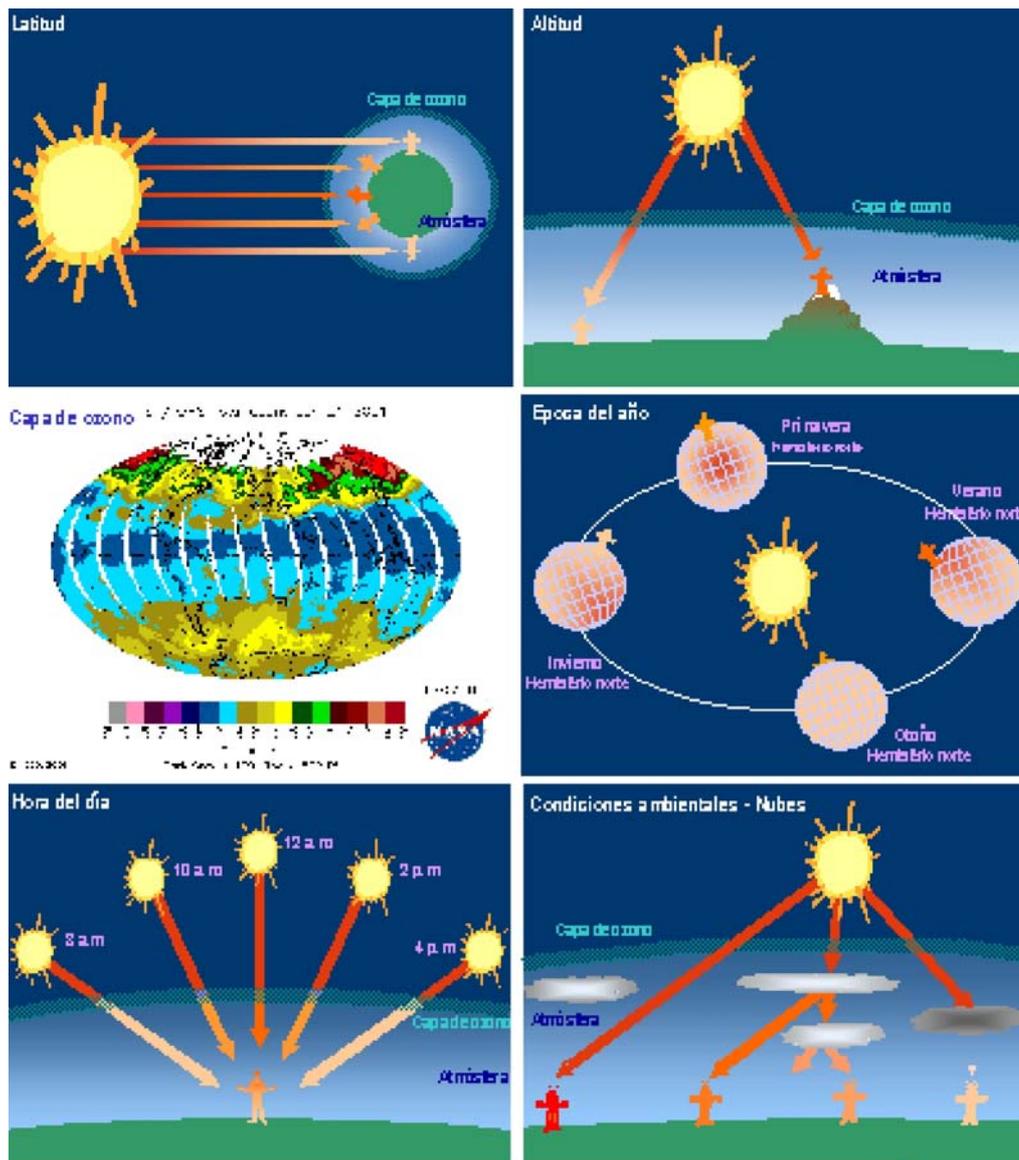


Figura 1.8. Factores que intervienen en la cantidad de radiación que llega a la superficie de la Tierra

- Latitud: Los rayos solares son más fuertes en el ecuador, donde el sol está más perpendicular a la superficie terrestre y los rayos ultravioleta tienen que viajar las distancias más cortas a través de la atmósfera. Además, la capa de ozono es más fina en los trópicos. A latitudes más altas el sol está más bajo en el cielo y los rayos ultravioleta deben viajar distancias mayores a través de porciones ricas en ozono de la atmósfera.



- **Altitud:** La intensidad ultravioleta se incrementa con la altitud porque hay menos capa de atmósfera para absorber las radiaciones dañinas.
- **Capa de ozono:** la capa de ozono absorbe la mayor parte de las radiaciones perjudiciales, pero su grosor varía dependiendo de la época del año y de las condiciones ambientales. Además el grosor de la capa de ozono se ha reducido de forma importante en algunas áreas debido a la emisión de productos químicos
- **Época del año:** el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con las estaciones. La intensidad ultravioleta es mayor durante los meses de verano.
- **Hora del día:** al mediodía los rayos solares inciden más perpendicularmente sobre la superficie terrestre por lo que deben recorrer una distancia más corta a través de la atmósfera. Por la mañana y por la tarde, los rayos pasan oblicuamente a través de la atmósfera y la intensidad de radiación UVB disminuye sustancialmente. La radiación UVA no es sensible al ozono y varía durante el día como lo hace la luz visible.

Condiciones ambientales: las nubes reducen los niveles ultravioleta, pero no completamente. En la fórmula de cálculo del factor de protección de los tejidos se introduce un espectro llamado de irradiancia solar, que tiene en cuenta estos factores a excepción de las condiciones ambientales. Se utilizan espectros medidos al mediodía de un día de verano, como condiciones más severas. El espectro puede variar según la localización geográfica, y debe indicarse el utilizado al dar un resultado. Como ejemplo, la Figura 1.9 muestra la irradiancia solar espectral de la radiación ultravioleta medida en Melbourne <sup>(27)</sup> y en Albuquerque <sup>(28)</sup>.

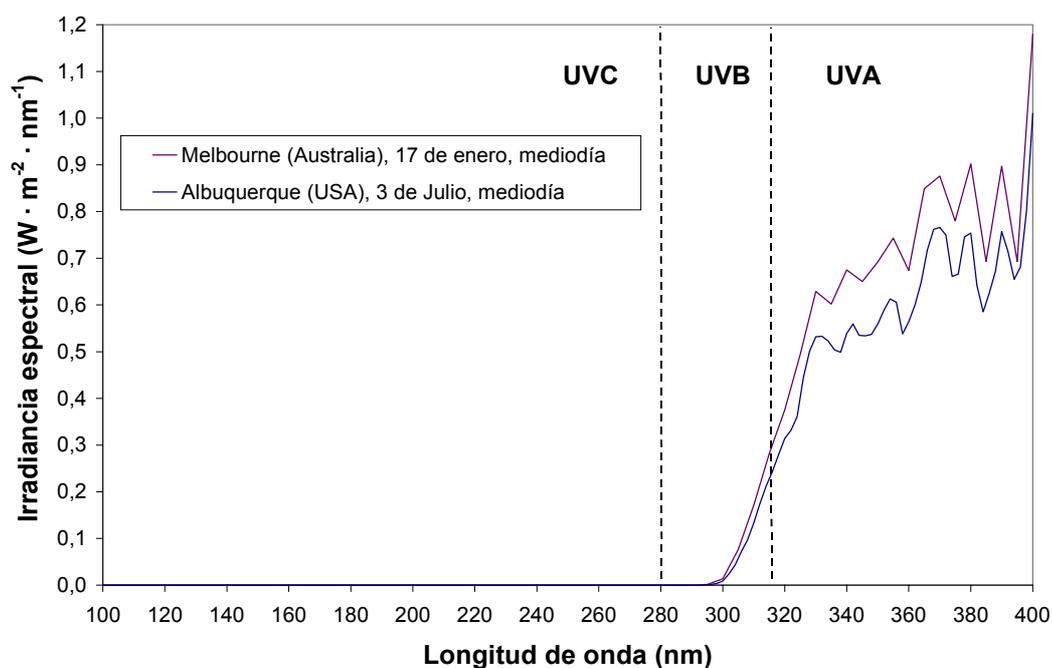


Figura 1.9. Irradiancia espectral solar de la radiación ultravioleta  $S_x$ .



### 1.1.4.2.1.3. Espectro de acción eritemal $E_\lambda$

Como se indicó anteriormente no todas las longitudes de onda de la radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra son dañinas en igual proporción para el ser humano. La capacidad de la radiación ultravioleta para producir un eritema (enrojecimiento) en la piel humana depende en gran medida de la longitud de onda. Como ya se ha comentado, cuanto menor es la longitud de onda, más perjudicial es el efecto de la radiación. Así la radiación UVC es más perjudicial que la radiación UVB y ésta, a su vez, más que la radiación UVA. Por lo tanto, existe la necesidad de expresar la acción de la radiación ultravioleta sobre la piel como una cantidad ponderada según su efecto eritemal, es decir, de dar más peso a la radiación ultravioleta más perjudicial y menos peso a la más benigna.

La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) ha propuesto utilizar un espectro eritemal de referencia, Figura 1.10, como una medida estándar del efecto relativo de la radiación ultravioleta según la longitud de onda <sup>(29)</sup>.

El espectro de acción eritemal se obtiene irradiando a las personas objeto de ensayo con radiación ultravioleta monocromática de todas las longitudes de onda. Para cada longitud de onda, se determina la dosis crítica de energía de la radiación en  $J/m^2$  que produce un eritema. El espectro de acción eritemal  $E_\lambda$  corresponde a la inversa de dicha dosis crítica.

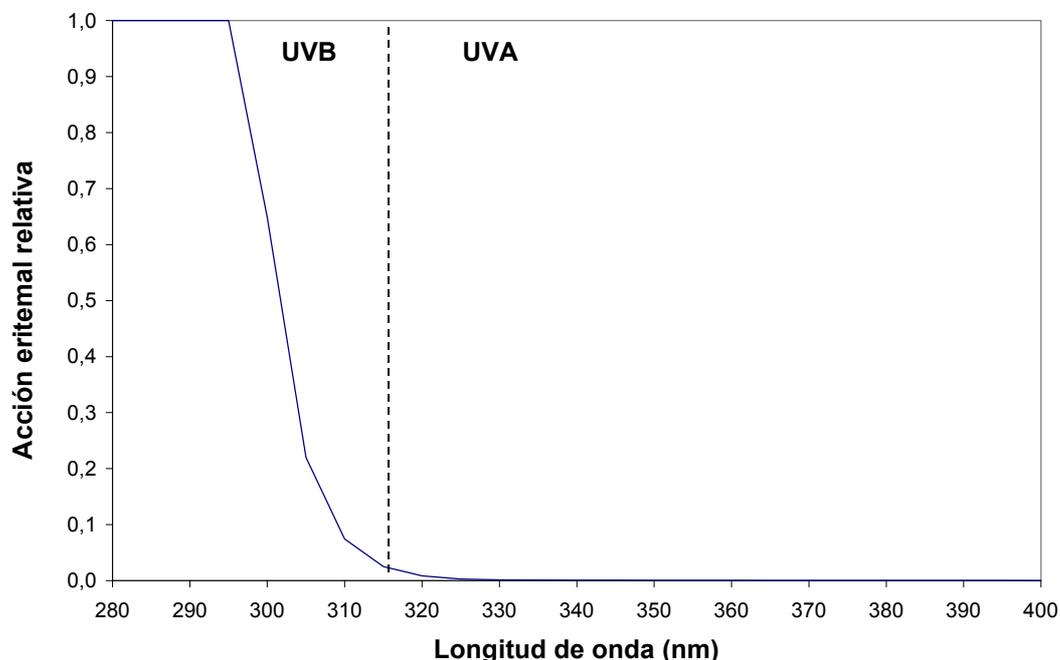


Figura 1.10. Espectro de acción eritemal CIE  $E_\lambda$

### 1.1.4.2.1.4. Efectividad eritemal $E_\lambda \cdot S_\lambda$

Un gráfico más revelador es el producto de  $E_\lambda \cdot S_\lambda$ , que aparece en la fórmula de determinación del UPF, tanto en el numerador como en el denominador. Si se combinan



los espectros de la Figura 1.9 y de la Figura 1.10 se obtiene el espectro de efectividad eritemal de la radiación ultravioleta, que se muestra en la Figura 1.11.

La figura muestra claramente que la zona más perjudicial, y que tiene más peso en el cálculo del UPF, se sitúa sobre las longitudes de onda de la radiación UVB y una parte de la radiación UVA hasta aproximadamente 320 nm. Aunque la transmisión de radiación a través de los tejidos a estas longitudes de onda sea pequeña, tendrá un gran peso en el factor de protección de los tejidos mientras que transmisiones más grandes en longitudes de onda mayores no tendrán prácticamente incidencia en el valor del UPF final.

Por lo tanto, los tejidos serán muy efectivos en cuanto a la protección de la radiación ultravioleta si aseguran el bloqueo de las radiaciones ultravioleta en el intervalo de longitudes de onda de la radiación UVB, así como la radiación UVA hasta longitudes de onda de aproximadamente 320 nm.

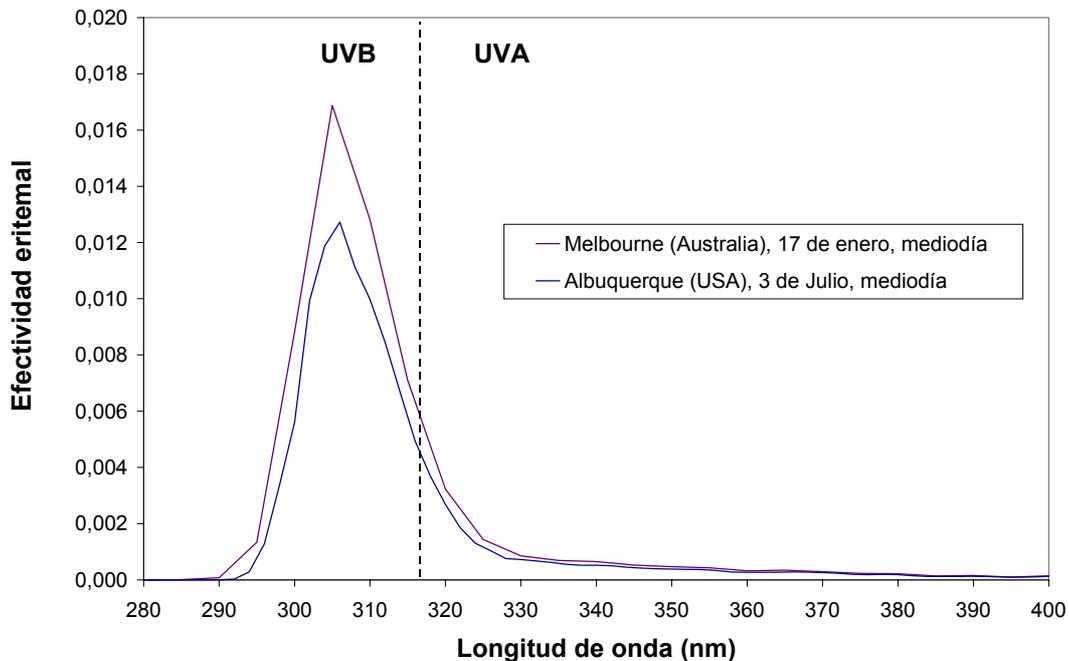


Figura 1.11. Efectividad eritemal  $E_{\lambda}$ ,  $S_{\lambda}$

#### 1.1.4.2.2. Normativa relacionada con la determinación del UPF in vitro

La primera norma referente a la determinación de la protección de los tejidos a la radiación ultravioleta apareció en el año 1996 y fue desarrollada conjuntamente por Australia y Nueva Zelanda, como muestra de la preocupación que existía en estos países por el aumento creciente de los casos de cáncer de piel, debido a la disminución de la capa de ozono en su localización geográfica. La norma AS/NZ 4399:1996 "Sun protective clothing – Evaluation and classification" <sup>(27)</sup> establece la forma de determinar el factor de protección solar de los tejidos y la clasificación de los mismos según la protección proporcionada.



Posteriormente aparecieron normas similares. En el Reino Unido, la norma BS 7914:1998 “Method of test for penetration of erythemally weighted solar ultraviolet radiation through clothing fabrics”<sup>(30)</sup> establece el método para la determinación de la penetración de la radiación ultravioleta a través de tejidos, siendo la penetración el inverso del UPF. En USA, la American Association of Textile Chemists and Colorists publicó en el año 1998 el AATCC Test Method 183-1998, actualizado en el año 2000 “Transmittance of Blocking of Erythemally Weighted Ultraviolet Radiation Through Fabrics”<sup>(28)</sup>, que describe el método de cálculo del UPF de los tejidos. Al contrario que la norma australiana / neozelandesa, ninguna de estas dos normas establece un sistema de etiquetado de los tejidos en función de su índice UPF. Sí que establece dicho sistema de clasificación la norma estadounidense ASTM D6603-00 “Standard Guide for Labeling of UV-Protective Textiles”.

En el momento del inicio de esta tesis estaba en proceso de aprobación un proyecto de norma europea prEN 13758<sup>(31)</sup>, elaborada por el European Committee for Standardization y, en concreto, por el subcomité CEN/TC 248, que describe también el método de cálculo del UPF de los tejidos. La primera parte de la norma europea definitiva fue aprobada en el año 2001, con el nombre EN 13758-1:2001 “Textiles - Solar UV protective properties - Part 1: Method of test for apparel fabrics”. En el año 2003 se aprobó la segunda parte de esta norma, ha anunciando que se ha completado la segunda parte de esta norma EN 13758-2:2003 “Textiles - Solar UV protective properties - Part 2: Classification and marking of apparel”, que cubre los aspectos de clasificación y etiquetado. La nota de prensa anunciando la aprobación de la norma que apareció en la página web del CEN<sup>(32)</sup> muestra un pictograma que puede acompañar a las prendas si cumplen que el Factor de Protección Ultravioleta (UPF) tenga un valor mínimo de 40 y si cumplen ciertos requisitos de diseño que se especifican en la norma. Además, se debe añadir una advertencia de que la protección se puede ver reducida si la prenda está en un estado de tensión, húmedo o después de su uso durante un tiempo.



Figura 1.12. Pictograma para el etiquetado de las prendas, según la norma europea EN 13758-2<sup>(32)</sup>

También en la página web de la ISO – International Organisation for Standardization<sup>(33)</sup>, se anunció que el comité ISO/TC 38 Textiles estaba trabajando en la elaboración de una nueva norma relacionada con la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por los artículos textiles, señalándose que el proyecto de norma ISO/AWI 22620 “Textiles



-- Solar UV protective properties -- Classification and marking of apparel” estaba aún en un proceso inicial de elaboración.

Las normas citadas anteriormente contemplan la medida del factor de protección de tejidos no usados. Sin embargo, existe también una preocupación por conocer qué pasa cuando los tejidos se usan y se someten a la acción de lavados, luz del sol, agua clorada o de mar, etc. Diversos autores han publicado estudios en los que se demuestra que el factor de protección varía, generalmente mejora, después del uso de las prendas <sup>(10, 24)</sup>. En el año 2000 apareció la norma estadounidense ASTM D6544-00 “Standard Practice for Preparation of Textiles Prior to UV Transmission Testing” <sup>(32)</sup>, que recoge el interés del sector y establece métodos estándar de preparación de muestras para simular condiciones después de un uso estacional de dos años (lavado, exposición a la luz solar y exposición a agua clorada de piscinas) antes de la medida del UPF.

Otro aspecto a tener en cuenta es el hecho de que las normas existentes, en general, sólo contemplan la medida del UPF en tejidos secos y no estirados. Algunas aplicaciones de tejidos protectores implican que reciban radiación ultravioleta en estado mojado (bañadores) y en estado de estiramiento (prendas ajustadas). La medida del UPF de muestras secas y relajadas de estos tejidos puede llevar a errores ya que el factor de protección puede disminuir considerablemente por las características de uso, en estado estirado y/o húmedo, de dichas prendas <sup>(34)</sup>. En este sentido, los comités de los diversos organismos normalizadores siguen trabajando en la ampliación de las normas existentes y elaboración de nuevas normas. Un ejemplo es el comité RA106 de la AATCC que en la última ampliación de su norma, el AATCC Test Method 183-2000, indica que el método puede servir también para la medida de muestras mojadas y de muestras estiradas. Sin embargo, no establece las condiciones para la preparación de dichas muestras. En esta misma dirección la International Testing Association for Applied UV Protection, formada por varios institutos de financiación privada de Alemania, Suiza, Austria, Turquía y China, promulgó en el año 2001 la utilización de un documento normativo denominado UV Standard 801 <sup>(36)</sup>. El objetivo del documento es definir los requisitos generales y específicos para poder etiquetar los productos textiles con la etiqueta UV-Standard 801, que se expone en la Figura 1.13.



Figura 1.13. Etiqueta UV-Standard 801, factor de protección 40

Según el UV-Standard 801 es necesario medir el UPF del tejido en varios estados. En primer lugar, se debe realizar la medida del UPF del tejido original así como del tejido



estirado, en seco y en húmedo. Además se determina el UPF del tejido, en todos estos estados, después de someterlo a ensayos de abrasión, de lavado doméstico y de lavado en seco. El factor de protección mostrado en la etiqueta de las prendas es el menor UPF de los obtenidos en las diferentes medidas.

#### 1.1.4.2.3. Clasificación y etiquetado de las prendas protectoras: Índice UPF

Algunas de las normas relacionadas con la protección a la radiación ultravioleta proporcionada por los artículos textiles que han ido apareciendo durante los últimos años establecen un sistema de clasificación de los tejidos en función de sus propiedades protectoras del sol.

Cuando el objetivo es incluir el factor de protección en el etiquetado, la ropa protectora del sol debe ser clasificada de acuerdo con el índice UPF. En la Tabla 1.1 se muestra la categoría de protección según dicho índice, tal como se expresa en la Norma AS/NZ 4399:1996.

Rango UPF de la muestra	Categoría de protección UVR	Transmisión UVR efectiva (%)	Índice UPF
15 a 24	Buena protección	6,7 a 4,2	15, 20
25 a 39	Muy buena protección	4,1 a 2,6	25, 30, 35
40 a 50, 50+	Protección excelente	≤ 2,5	40, 45, 50, 50+

Tabla 1.1. Etiquetado y clasificación de los tejidos en función de su factor de protección a la radiación ultravioleta (Norma AS/NZ 4399: 1996)

El índice UPF se calcula a partir del UPF de la muestra, tomándose el múltiplo de 5 inmediatamente inferior. Así un tejido con un UPF de 39, tendrá un índice UPF de 35 y proporcionará muy buena protección a la radiación ultravioleta. A partir de 50, el índice siempre se señala como 50+.

#### 1.1.5. Índice UV

Como se ha comentado en un apartado anterior el espectro de irradiancia solar utilizado en la fórmula para la determinación del UPF de un tejido no tiene en cuenta las condiciones ambientales, aunque la intensidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre varía en función de la cantidad y tipo de nubes. También se ha comentado que el espectro eritemal utilizado en la fórmula es un espectro de referencia estándar, que no tiene en cuenta el tipo de piel de una persona en particular.

El índice UV es una unidad de medida del nivel de radiación ultravioleta relevante por su efecto sobre la piel humana. Inicialmente, el índice UV se definió y utilizó en programas de información pública sobre radiación ultravioleta de varios países. Más tarde, su definición se normalizó y publicó como recomendación conjunta de la Organización Mundial de la Salud, la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de Medio



Ambiente de Naciones Unidas y la Comisión Internacional sobre Radiación No-Ionizante <sup>(37)</sup>.

El índice UV constituye una herramienta que facilita la planificación de actividades al aire libre para prevenir una sobreexposición a los rayos del sol. Proporciona un parte diario del nivel de intensidad de la radiación ultravioleta y el riesgo estimado de exposición al sol. El índice predice niveles de intensidad ultravioleta en una escala del 0 (mínimo riesgo) al 10+ (muy alto riesgo). En su estimación tiene en cuenta las nubes y otras condiciones locales que afectan la cantidad de radiación ultravioleta que llega a la superficie de la Tierra <sup>(38)</sup>.

Diversos países ofrecen un servicio de consulta de la previsión del índice UV en Internet. La Figura 1.14 muestra un ejemplo de previsión de los niveles de intensidad de la radiación en función del índice UV y el nivel de riesgo en función del tipo de piel y el índice UV, ofrecida por el servicio meteorológico del Reino Unido en su página web.

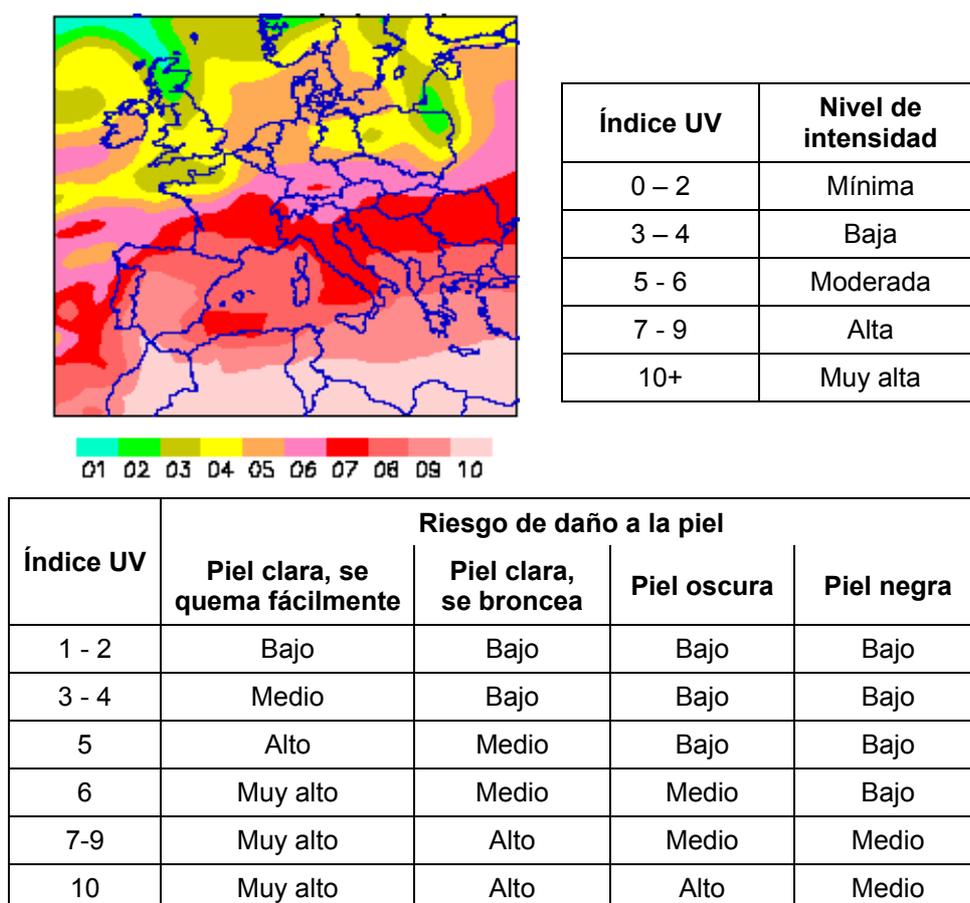


Figura 1.14. Previsión del Índice UV para el 9 de julio de 2001 <sup>(39)</sup>

Según el riesgo de daño a la piel se deben tomar diferentes medidas protectoras:

- Riesgo bajo: el sol no dañará.
- Riesgo medio: se debería evitar la exposición directa al sol durante más de 1-2 horas.



- Riesgo alto: se puede quemar en 30-60 minutos. Se debería evitar la exposición directa al sol y usar factor de protección superior a 15.
- Riesgo muy alto: se puede quemar severamente en 20-30 minutos. Se debe evitar la exposición directa al sol y usar un factor de protección superior a 15.

Para realizar un pequeño estudio de las necesidades de protección en nuestro país, se ha consultado semanalmente y durante dos años la previsión del índice UV que aparece en dicha página, anotándose los datos correspondientes al índice mínimo y máximo en la totalidad de la Península Ibérica, así como los datos correspondientes al índice medio en la Comunidad de Cataluña. Con estos datos se ha confeccionado el gráfico de la Figura 1.15, que nos proporciona información sobre las necesidades de nuestro país y comunidad en cuanto a protección contra la radiación ultravioleta. En la figura se han señalado con diferente color los niveles de intensidad de radiación ultravioleta.

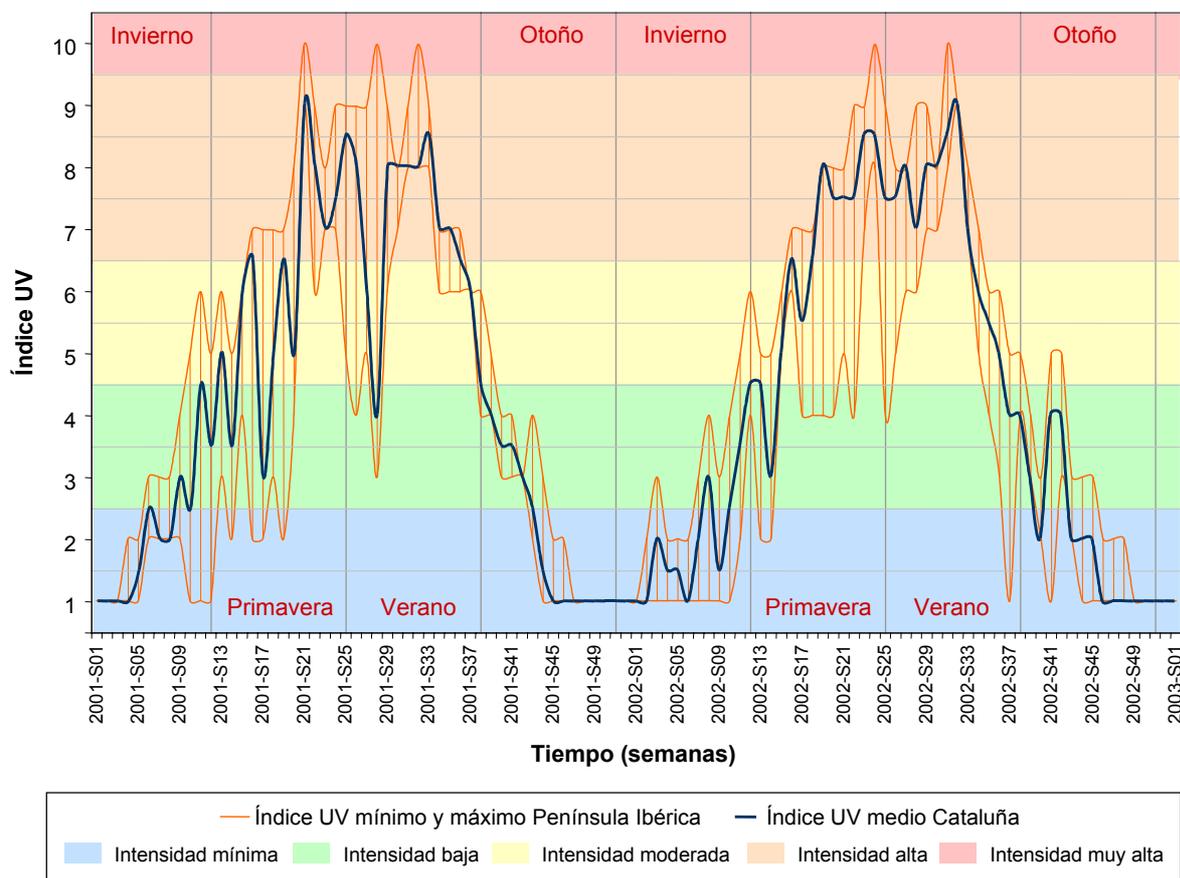


Figura 1.15. Niveles del Índice UV en la Península Ibérica y en la Comunidad de Cataluña

En la figura podemos observar que en España tenemos una gran variación de los niveles de intensidad de radiación ultravioleta a lo largo del año. Además, para un mismo día, a menudo las bandas tienen una variación muy amplia que corresponde a diferencias considerables en el índice UV producidas según la localización geográfica, es decir, el mismo día se pueden tener índices UV muy diferentes en diferentes regiones de la Península.



Únicamente entre los meses de noviembre y enero-febrero se puede casi asegurar que tendremos niveles de intensidad mínima, que no presenta riesgo de daño en la piel para ninguno de los tipos de piel. A medida que el invierno da paso a la primavera el nivel de intensidad aumenta alcanzando niveles de intensidad baja, para el que las pieles blancas que se queman con facilidad tendrían un riesgo medio de daño por el sol, que aconsejaría limitar el tiempo de exposición directa. Sin embargo, en algunas localizaciones geográficas ya podemos llegar a niveles de intensidad moderada incluso en algunos meses del final del invierno, que implicaría un riesgo medio de daño en pieles claras que se broncean con facilidad y un riesgo alto para pieles claras que se queman con facilidad para las que ya se recomendaría el uso de algún elemento protector.

En las primeras semanas de primavera se tienen niveles de intensidad moderada como al final del invierno pero a medida que avanza la estación se llegan ya a niveles de intensidad alta en la mayoría del país. En este punto las pieles claras que se queman fácilmente ya tienen un riesgo de quemaduras severas con 20 - 30 minutos de exposición y las pieles claras que se broncean fácilmente tienen un riesgo de quemaduras con 30 – 60 minutos de exposición. En ambos casos se recomienda el uso de algún elemento protector.

Durante casi todos los meses de verano se mantiene en el país un nivel de intensidad de radiación ultravioleta alta o puntualmente muy alta, niveles para los cuales se recomienda para todas las pieles, la limitación en el tiempo de exposición y/o el uso de algún elemento protector.

Por último, durante el otoño la intensidad de la radiación disminuye hasta niveles de intensidad baja, que hacen menos necesario el uso de cremas o tejidos protectores.

Resumiendo, para los dos grupos de piel clara (predominantes en nuestro país), se necesita el uso de elementos protectores. Las pieles claras que se queman con facilidad los necesitan ya desde las últimas semanas del invierno hasta el inicio del otoño, mientras que las pieles claras que se broncean fácilmente los necesitarán en la mayor parte de la primavera y en el verano. Durante los meses de invierno e inicio de la primavera la protección de la piel no presenta grandes problemas, ya que utilizamos prendas gruesas que cubren gran parte de nuestro cuerpo y únicamente será necesario el uso de alguna crema protectora en el rostro. Pero cuando llega el verano empezamos a utilizar prendas más ligeras y abiertas. Como ya se ha expuesto con anterioridad muchos de los tejidos ligeros utilizados en verano no pueden garantizar al consumidor que proporcionan la adecuada protección a la piel. Es necesario, pues, el estudio de la relación entre los parámetros de los tejidos y los niveles de protección contra la radiación ultravioleta, para proporcionar a la industria textil una base para la fabricación de tejidos que satisfagan las demandas del mercado.



## 1.2. OBJETIVOS DE LA TESIS DOCTORAL

El objetivo principal de la tesis es el estudio de la protección que proporcionan los artículos textiles contra la radiación ultravioleta, determinando la influencia que diferentes parámetros del tejido tienen sobre el grado de protección de los mismos y la mejora de la protección que se puede obtener mediante la aplicación de colorantes, blanqueadores ópticos y productos de acabado específicos absorbentes de radiación ultravioleta. La cuantificación de la acción de cada parámetro se establecerá mediante la obtención de modelos estadísticos que permitirán, a su vez, predeterminar las condiciones de fabricación de los tejidos para la optimización de su factor de protección a la radiación ultravioleta.

En los últimos años, se han publicado diversos artículos que hablan sobre el factor de protección contra la radiación ultravioleta de los tejidos. En la mayoría de ellos se indica que casi todos los parámetros de fabricación textil pueden tener influencia en la protección proporcionada por los tejidos. Sin embargo, en casi ninguno se cuantifica la influencia de dichos parámetros y cuando se hace es en muestras de tejidos tomadas arbitrariamente, llegándose incluso a conclusiones contradictorias. Muchas veces se proclama la influencia de algún parámetro sin que se den datos que apoyen las teorías. En general, el principal problema radica en la planificación de las experiencias. Las medidas se realizan sobre tejidos comerciales con muy variadas composiciones, estructuras, colores y acabados, por lo que, al compararlos, no se puede determinar qué parámetro es el que influye más o menos ni la interacción entre las diferentes variables.

En la presente tesis, utilizando técnicas estadísticas de planificación de experiencias, se han proyectado y fabricado varias series de muestras con su especificación técnica completa, que permiten establecer modelos matemáticos a partir de los que se puede cuantificar la influencia de las diferentes variables del procesado textil sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos. El análisis estadístico de los resultados proporciona modelos matemáticos que permiten también estimar el factor de protección ultravioleta a priori, antes de la fabricación de los tejidos, lo cual constituirá una herramienta muy útil para el diseño de tejidos con un factor de protección preestablecido.

El objetivo general de la tesis, tal como se ha indicado, es el estudio de la influencia de las variables más significativas que afectan al factor de protección de los tejidos a la radiación ultravioleta. Son muy numerosos los parámetros de los tejidos que pueden influir en la protección proporcionada por los mismos. En la tesis se estudian varios de estos parámetros, agrupados en cinco apartados principales, en los que se ha creído conveniente dividir la parte experimental, de forma que cada uno de dichos apartados constituye un objetivo parcial. Dichos apartados son los siguientes:



- Estudio de la influencia de parámetros estructurales en el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los tejidos.

En el capítulo 2 de la tesis, se estudia la influencia del sustrato (diferentes composiciones de fibras), así como la influencia de la estructura de los tejidos (factor de cobertura y masa laminar del tejido, que son función del título de los hilos y de la densidad de hilos y pasadas).

Se estudian dos fibras celulósicas convencionales, de amplio uso en la composición de los tejidos para prendas de la temporada primavera / verano. Una de las fibras es de origen natural, el Algodón, y la otra de origen artificial, la fibra de Modal.

Recientemente han aparecido en el mercado algunas fibras fabricadas a partir de polímeros que incorporan productos químicos absorbentes de radiación ultravioleta. Las más conocidas en este momento son las fibras artificiales del tipo viscosa fabricadas por Lenzing (Modal Sun) o por Akzo Nobel (Enka Sun) y ESMO (Kuraray) en unos determinados títulos. También se ha estudiado una de estas fibras, Modal Sun, para comparar la efectividad de las mismas frente a las fibras convencionales.

Con cada una de estas tres fibras, se fabrica una serie de tejidos en los que se combinan tres títulos de hilo diferentes en la urdimbre y en la trama con tres densidades de pasadas diferentes. Con este diseño experimental se pretende establecer los modelos estadísticos que relacionen el UPF de los tejidos con los parámetros estructurales del mismo.

- Estudio de la influencia de las condiciones de uso de las prendas en el factor de protección a la radiación proporcionado por los tejidos

Con tejidos seleccionados, en el capítulo 3, se estudia la influencia de la tensión y humedad a la que está sometido el tejido durante su uso como prenda sobre la protección que proporciona contra la radiación ultravioleta.

Para ello se efectúan mediciones de UPF de tejidos sometidos a 3 tensiones que son usuales cuando el tejido se encuentra en contacto con el cuerpo. Las mediciones se efectúan sobre los tejidos secos y también sobre los tejidos mojados. Se cuantifica mediante modelos estadísticos la influencia de la tensión y humedad en el factor de protección.

- Estudio de la influencia del color en el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los tejidos

En el capítulo 4 se estudia la influencia del color efectuando tinturas con colorantes base de una tricromía a diferentes intensidades. Se pretende establecer modelos matemáticos que relacionen el matiz e intensidad de coloración con el factor de protección UPF proporcionado por los tejidos teñidos.



- Estudio de la influencia de blanqueadores ópticos en el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los tejidos

En el capítulo 5 se estudia la influencia del uso de blanqueadores ópticos añadidos a los tejidos cuando el objetivo es su comercialización como prendas de color blanco. Para ello se efectúan tratamientos con dos blanqueadores ópticos de diferente composición química, aplicados en varias concentraciones. Se pretende cuantificar mediante modelos estadísticos la influencia del tipo y de la concentración de los blanqueadores ópticos en el factor de protección. También se establecen modelos que cuantifiquen la eficacia del producto en cuanto al grado de blanco conseguido en función de la concentración aplicada. Ambos modelos permitirán también determinar la concentración óptima del producto que proporcione una mayor protección a la radiación UV y, a la vez, un grado de blancura adecuado.

- Estudio de la influencia de productos específicos de acabado en el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los tejidos

En el capítulo 6 se efectúan tratamientos con un producto comercial de acabado específico para mejorar el UPF. Los tratamientos se realizan a diferentes concentraciones, estableciéndose modelos estadísticos que relacionen la concentración con la protección proporcionada por los tejidos. Dichos modelos permitirán también determinar la concentración óptima del producto a utilizar.

En este apartado se estudia también la influencia de tales productos sobre algunas características de calidad del tejido que no deben ser perjudicadas por el acabado. Un último apartado está dedicado a la evaluación del impacto medioambiental del tratamiento con el producto de acabado, mediante la determinación de algunos parámetros ecotoxicológicos de los baños residuales.

La Figura 1.16 muestra esquemáticamente las diferentes partes en que se ha dividido la tesis y las tareas a realizar en cada una de ellas.



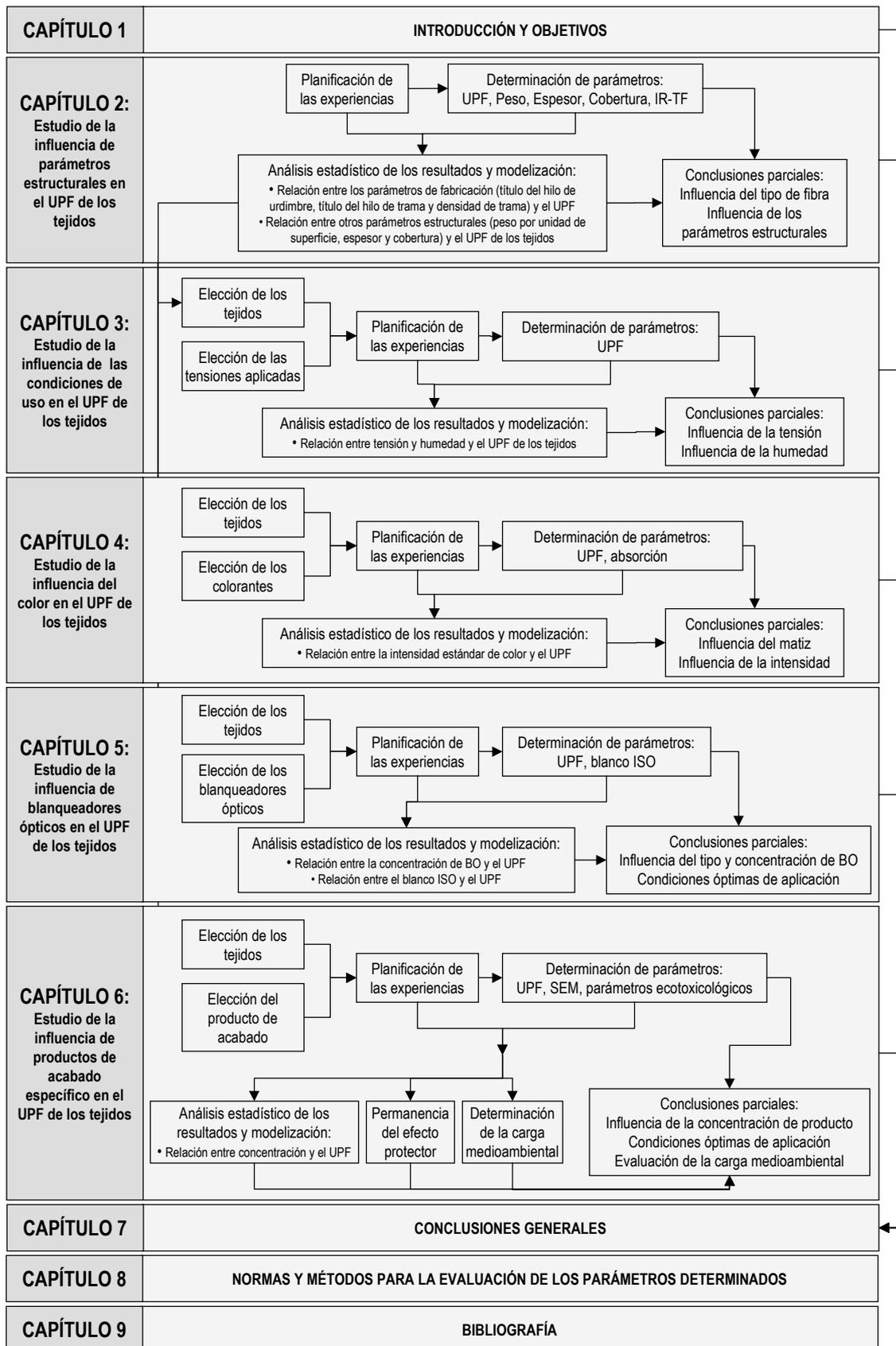


Figura 1.16. Esquema de las partes de la memoria de la tesis doctoral

