

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES FINALES

El grado de protección, UPF, que un tejido proporciona contra el paso de radiación ultravioleta viene influenciado por todos los parámetros de los tejidos que se han estudiado en esta tesis doctoral.

Los resultados demuestran que tanto el tipo de fibra como la estructura del tejido son factores determinantes y que el estado de tensión y humedad del tejido son factores influyentes. Además, el factor de protección proporcionado por los tejidos puede mejorarse muy notablemente mediante los procesos de ennoblecimiento textil. Con los procesos habituales de tintura o blanqueo óptico se consigue una mejora efectiva del UPF de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun estudiados en esta tesis. La aplicación de un producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta también se ha mostrado eficaz en la mejora de la protección.

El análisis estadístico de los datos ha permitido establecer, para cada tipo de fibra, modelos estadísticos que cuantifican el UPF en función de los parámetros de fabricación de los tejidos y de las variables de uso. Asimismo, se han obtenido modelos estadísticos que describen el UPF de los tejidos en función de la intensidad de la tintura, para tres colorantes de diferente matiz, de la concentración de dos blanqueadores ópticos de diferente estructura química y de la concentración de un producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta. Los coeficientes de determinación R^2 del ajuste de todos los modelos definidos son de valor muy elevado y con un número alto de grados de libertad, lo que significa que con pocos términos en los modelos se tiene una gran seguridad de que los valores de UPF estimados con ellos se ajustan a la realidad.

- Influencia del tipo de fibra
 - El tipo de fibra presenta una notable influencia sobre la protección a la radiación ultravioleta proporcionada por los tejidos.
 - En los tejidos fabricados para este estudio, con pesos adecuados para su uso en prendas de verano, convenientemente preparados para tintura, los dos tipos seleccionados de fibras celulósicas convencionales (Algodón y Modal) han resultado ser muy transparentes a la radiación ultravioleta. La fibra de Modal Sun, especialmente diseñada para su uso en prendas protectoras contra la radiación ultravioleta, ha demostrado ser muy eficaz en el desempeño de su función.
 - Los tejidos fabricados con la fibra de Algodón son los más transparentes al paso de la radiación ultravioleta. Ningún tejido presenta un valor de UPF suficiente para que pueda ser considerado como protector contra la radiación ultravioleta.
 - Los tejidos de Modal presentan un comportamiento ligeramente mejor que los de Algodón, si bien la mayoría de ellos tampoco proporciona una protección suficiente. Únicamente los dos tejidos de Modal más compactos tienen un factor de protección de valor algo superior a 15, que los clasifica como buenos protectores.



- El UPF de los tejidos de Modal Sun es notablemente mayor. Para estructuras similares a las de Algodón y Modal, con la fibra de Modal Sun sí que se obtienen tejidos con niveles de buena protección ($15 \leq \text{UPF} < 25$), muy buena protección ($25 \leq \text{UPF} < 40$) e incluso en muchos casos protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$), siempre en función de la menor o mayor compacidad de los tejidos.
- El diferente comportamiento de las fibras de Algodón y Modal podría radicar en dos posibles causas: un mayor contenido de celulosa cristalina en el Algodón, puesta de manifiesto mediante los espectros IR-TF, que produciría una menor absorción de la radiación ultravioleta por esta fibra, o la presencia de algún resto de agentes de ensimaje o aditivos en la fibra de Modal que produciría una mayor absorción de radiación. No obstante, estas hipótesis deberán ser comprobadas en una investigación posterior.
- La mayor efectividad de la fibra de Modal Sun en el bloqueo de la radiación ultravioleta se explica fundamentalmente por la presencia de partículas de dióxido de titanio en su composición, producto que se sabe que está introducido en la masa de polímero en la hilatura de la fibra y cuya presencia se ha demostrado también por IR-TF. Las partículas de dióxido de titanio absorben radiación en todas las longitudes de onda del ultravioleta y, consecuentemente, hacen que disminuya la transmitancia difusa de la radiación en todo el espectro ultravioleta. Es importante destacar que la mayor absorción se produce en las longitudes de onda del UVB y de aquí el extraordinario efecto sobre el factor de protección UPF.
- Influencia de la estructura de los tejidos
 - La estructura de los tejidos tiene una gran influencia sobre la protección proporcionada por los mismos contra la radiación ultravioleta.
 - La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye al aumentar los niveles de las variables de fabricación estudiadas: título del hilo de urdimbre, título del hilo de trama o densidad de hilos de trama. Consecuentemente, disminuye también al aumentar el valor de los parámetros estructurales que se derivan de las variables, como son el peso por unidad de superficie, espesor o el porcentaje de cobertura de los tejidos. El factor de protección a la radiación ultravioleta UPF, cuyo valor tiene una relación inversa con la transmisión, aumenta al incrementarse el valor de cualquiera de los parámetros estructurales estudiados.
 - Los modelos estadísticos obtenidos que relacionan el UPF con los parámetros de fabricación de los tejidos (título del hilo de urdimbre, título del hilo de trama y densidad de hilos de trama), permiten concluir que:
 - Independientemente del tipo de fibra utilizada, todos los parámetros de fabricación estudiados tienen una influencia significativa sobre el valor del UPF del tejido. Los



coeficientes positivos de los efectos en el modelo demuestran que el valor de la respuesta aumentará cuando lo haga cualquiera de dichos parámetros.

- Para todos los tipos de fibra estudiados, el parámetro de fabricación del tejido que tiene más influencia sobre el valor del UPF es el título del hilo de urdimbre. El segundo parámetro más influyente es el título del hilo de trama, mientras que la densidad de hilos de trama presenta una influencia menos notable.
- La influencia de la estructura del tejido en su factor de protección ultravioleta será mayor o menor dependiendo del tipo de fibra utilizado. En los tejidos de Algodón y Modal la influencia de la estructura no tiene una fuerza suficiente como para que un incremento en la compacidad del tejido pueda provocar una mejora en cuanto a su nivel de clasificación. En cambio, el modelo para Modal Sun incluye mayor número de términos significativos y sus coeficientes tienen mayor valor positivo, lo que indica que la influencia de la estructura del tejido es más notable.
- El UPF de los tejidos de Algodón aumenta de forma lineal al incrementarse el nivel de cualquiera de las variables. En los modelos de los tejidos de Modal y Modal Sun, en cambio, el UPF aumenta de forma cuadrática, acelerándose su aumento al incrementarse algunas de las variables.
- Se han establecido también modelos estadísticos que relacionan el UPF con otros parámetros estructurales del tejido, muy habitualmente utilizados en la industria textil: peso por unidad de superficie, espesor y cobertura.
- El UPF está fuertemente correlacionado con el peso por unidad de superficie y con el factor de cobertura de los tejidos. La correlación de UPF con el espesor es algo menor. Con finalidades prácticas el parámetro peso es el que mejor puede utilizarse para predecir el UPF, ya que se obtienen los coeficientes de correlación más elevados.
- Para las series de tejidos de Algodón y Modal, el modelo lineal es el adecuado para describir el valor de la respuesta UPF en función del peso de los tejidos. En el caso de la serie de Modal Sun, se debe recurrir al modelo parabólico, ya que se requiere la introducción de un término cuadrático. Los modelos obtenidos permiten estimar el UPF a priori según el parámetro peso. También, de acuerdo con los intervalos de predicción, permiten la estimación del peso a partir del cual se tiene una seguridad del 95% de obtener un determinado UPF mínimo.
- Influencia del estado de tensión y humedad de los tejidos durante el uso
 - Las variables tensión y humedad afectan significativamente al factor de protección ultravioleta de los tejidos. Los modelos obtenidos permiten concluir que el nivel de protección de los tejidos estirados y/o mojados depende de todas las variables del



- estudio: tipo de fibra, estructura del tejido (representada por su UPF inicial), humectación del tejido y tensión a la que es sometido.
- La variable humedad tiene una influencia significativa en el UPF de los tejidos. Sin embargo, el signo de dicha influencia depende notablemente del tipo de fibra.
 - El UPF disminuye al mojar los tejidos de Algodón o Modal. La influencia negativa de esta variable depende de la estructura, siendo cada vez mayor a medida que aumenta el UPF inicial de los tejidos, es decir, a medida que aumenta su compacidad.
 - En los tejidos de Modal Sun se produce un aumento en el UPF al mojar los tejidos. El efecto positivo de la humedad será cada vez mayor a medida que el tejido va siendo más compacto.
 - La variable tensión tiene también una influencia significativa en el UPF de los tejidos. Para todas las fibras estudiadas, los coeficientes negativos de esta variable en los modelos indican que el valor de la respuesta UPF disminuye significativamente cuando aumenta la tensión a la que se someten los tejidos.
 - En el modelo para los tejidos de Algodón, la disminución en la respuesta UPF causada por el aumento de la variable tensión sigue una relación lineal. En los tejidos secos, la influencia de esta variable no depende de la estructura del tejido. En cambio, cuando están mojados, la tensión tendrá un peso cada vez mayor a medida que aumenta el UPF inicial de los tejidos y, por lo tanto, su compacidad.
 - En el modelo para los tejidos de Modal, la disminución en el UPF debida a la variable tensión también sigue una relación lineal. La influencia de esta variable es independiente de la estructura del tejido (UPF inicial) y de su humectación.
 - En el modelo para los tejidos de Modal Sun, la relación entre la respuesta UPF y la variable tensión sigue una tendencia parabólica, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores decrementos en el UPF cuando las tensiones son bajas, y cambios menores a medida que la tensión va creciendo. En este caso, el efecto negativo de la tensión es aumentado por la compacidad del tejido, mientras que es independiente de la humedad.
 - Aunque la influencia de las variables tensión y humedad es estadísticamente significativa, las variaciones que causan en el UPF de los tejidos de Algodón y Modal, dentro del rango experimental, son poco apreciables desde el punto de vista de su aplicación práctica textil. Sí que lo es, en cambio, en el caso de los tejidos de Modal Sun. Si se quiere garantizar que la protección de un tejido se mantendrá en cualquier circunstancia durante el uso de las prendas, deberán tenerse en cuenta en su diseño las condiciones de tensión y humedad a las que serán sometidas.



- Influencia del color
 - Entre los tratamientos de ennoblecimiento estudiados en esta tesis, la coloración de los tejidos ha resultado el medio más eficaz para aumentar la protección contra la radiación ultravioleta de los tejidos. Los modelos estadísticos obtenidos para los tejidos teñidos tienen coeficientes significativos de valor más elevado que los obtenidos en los modelos para los tejidos blanqueados ópticamente o tratados con el producto de acabado específico.
 - Los modelos indican que, para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, la tintura de los tejidos produce un incremento significativo en el valor del UPF y permite la obtención de tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 \leq \text{UPF} < 25$), muy buena protección ($25 \leq \text{UPF} < 40$) y protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$). Sin embargo, el nivel de protección alcanzado depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra, del tipo de colorante utilizado, de la intensidad de color y del UPF inicial del tejido antes de la tintura (es decir, de la estructura del tejido original).
 - Los mayores coeficientes en el modelo indican que la influencia de la coloración es más notable en la tintura de los tejidos de Algodón, seguida por los de Modal. El aumento en el UPF de los tejidos de Modal Sun al ser teñidos es menor, aunque teniendo en cuenta que esta fibra ya es muy protectora de por sí, los niveles de protección alcanzados con la coloración son igualmente elevados.
 - La influencia del tipo de colorante depende del tipo de fibra con el que se fabrican los tejidos. Esta variable no tiene una influencia significativa en la tintura de los tejidos de Modal Sun. En cambio, es significativa en los tejidos de Algodón o de Modal, de forma que el UPF es mayor cuando se utiliza el colorante C.I. Direct Blue 77, seguido por el C.I. Direct Red 89 y menor cuando se utiliza el C.I. Direct Yellow 98.
 - Para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, la variable que tiene los coeficientes significativos más elevados en los modelos es el UPF inicial de los tejidos, es decir, la estructura del tejido original.
 - Para todos los tipos de fibras y de colorantes estudiados, el aumento de la intensidad de tintura producirá un incremento significativo en el UPF del tejido. Este incremento no es lineal, se producen mayores cambios en el UPF para intensidades de color bajas y cambios menores cuando la intensidad de tintura va creciendo.
 - Es muy destacable la gran contribución de la interacción de las dos variables, UPF inicial del tejido e intensidad estándar de color, en el valor de la respuesta UPF.
- Para tejidos con UPF inicial bajo la tintura produce pequeños incrementos en el UPF final, pero a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta también se va



haciendo más notable el efecto de la coloración y pequeños incrementos en la intensidad de tintura producen muy notables mejoras en la respuesta UPF. De igual forma, para intensidades de tintura pálidas un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento en la respuesta UPF, pero a medida que aumenta la intensidad de coloración, el mismo aumento en el UPF inicial irá produciendo mayores incrementos en la respuesta UPF.

→ A efectos prácticos, con la coloración no se podrán alcanzar todos los niveles de protección únicamente aumentando la intensidad de tintura en un tejido cualquiera, sino que cada nivel requerirá el uso de un tejido con una compacidad mínima determinada. Con combinaciones adecuadas de UPF inicial e intensidad de color será posible obtener niveles de buena, muy buena y excelente protección.

- Influencia del tratamiento con blanqueadores ópticos
 - El tratamiento con blanqueadores ópticos en los tejidos destinados a color blanco se ha mostrado eficaz en el incremento de la protección contra la radiación ultravioleta.
 - Los modelos estadísticos obtenidos indican que, para todos los tipos de fibras y de blanqueadores ópticos estudiados, la aplicación de estos productos incrementa significativamente el valor del UPF y permite la obtención de tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 \leq \text{UPF} < 25$), muy buena protección ($25 \leq \text{UPF} < 40$) y protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$). El nivel de protección alcanzado por cada tejido blanqueado, sin embargo, depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra, del tipo de blanqueador utilizado, de la concentración de blanqueador óptico y del UPF inicial del tejido antes del tratamiento (de la estructura del tejido inicial).
 - La influencia del tratamiento con blanqueadores ópticos es más notable en los tejidos de Algodón, como demuestran el mayor número de términos significativos positivos y los, en general, mayores coeficientes positivos en el modelo. Menores incrementos se producen en los tejidos de Modal. El aumento en el UPF de los tejidos de Modal Sun es menor, aunque teniendo en cuenta que esta fibra ya es muy protectora de por sí, los niveles de protección alcanzados con el blanqueo óptico son más elevados cuando se tratan los tejidos más ligeros.
 - La influencia del tipo de blanqueador óptico es diferente en función del tipo de fibra. Esta variable no es significativa cuando el tratamiento se realiza sobre los tejidos de Modal Sun. En cambio, es significativa cuando se realiza sobre tejidos de Algodón o de Modal. Cabe destacar que, aunque el tipo de blanqueador sea una variable significativa estadísticamente, las diferencias en la clasificación obtenida por el tratamiento con uno u otro blanqueador no son muy apreciables en la práctica.



- Para todos los tipos de fibras y de blanqueadores ópticos estudiados, el aumento de la concentración del producto producirá un incremento en el UPF del tejido. En los tejidos de Algodón la influencia de la concentración sigue una tendencia parabólica, de forma que el mismo aumento en la concentración provocará incrementos en el UPF cada vez mayores al aumentar el valor de esta variable. En los tejidos de Modal y Modal Sun también sigue una tendencia parabólica, pero en estos casos un incremento en el valor de la variable produce incrementos en el UPF cada vez menores al aumentar la concentración. En los tejidos de Modal Sun, se observa además una tendencia a llegar a la saturación, punto a partir del cual un aumento de la concentración no producirá una mejora significativa en el UPF.
- Existe una notable interacción entre las dos variables, UPF inicial del tejido y concentración de blanqueador óptico, que contribuye en gran medida al valor de la respuesta UPF.
 - Para los tejidos con UPF iniciales más bajos, el aumento de la concentración de los blanqueadores ópticos produce muy pequeños incrementos en la respuesta UPF. Sin embargo, a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta también se va haciendo más notable el efecto de la concentración del blanqueador y pequeños incrementos en el valor de esta variable producen apreciables mejoras en la protección que los tejidos proporcionan. De igual forma, para concentraciones de blanqueador óptico bajas un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento del UPF del mismo, pero a medida que aumenta la concentración, el mismo aumento en el UPF inicial del tejido irá produciendo mayores incrementos en la respuesta UPF.
 - A efectos prácticos, la gran influencia de la interacción de las variables significa que el tratamiento con blanqueadores ópticos permitirá la obtención de tejidos con niveles de buena, muy buena y excelente protección, siempre que se combinen adecuadamente el UPF inicial y la concentración del producto en el tratamiento.
- La aplicación de los blanqueadores ópticos estudiados proporciona lógicamente, además de un aumento del UPF, un aumento del grado de blanco
 - Para las mismas condiciones de tratamiento, el grado de blancura alcanzado en los tejidos de Algodón es notablemente más elevado que el obtenido en el tratamiento de los tejidos de Modal y Modal Sun.
 - Tanto el UPF como el grado de blanco se ven favorecidos, en general, por el aumento de la concentración del blanqueador óptico.



- Influencia de la aplicación de un producto específico de acabado
 - El acabado con un producto absorbente de radiación ultravioleta es otra alternativa eficaz para mejorar la protección de los tejidos contra los efectos nocivos de dicha radiación.
 - Los modelos estadísticos obtenidos indican que, para todos los tipos de fibras, la aplicación del producto de acabado incrementa significativamente el UPF de los tejidos y posibilita la obtención de tejidos ligeros que pueden proporcionar niveles de buena protección ($15 \leq \text{UPF} < 25$), muy buena protección ($25 \leq \text{UPF} < 40$) y protección excelente ($\text{UPF} \geq 40$). El nivel de protección alcanzado, también en este caso, depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra, de la concentración del producto de acabado y del UPF inicial del tejido, es decir, de la estructura del tejido antes del tratamiento.
 - La influencia del tratamiento con el producto de acabado es más notable en los tejidos de Algodón, seguidos por los de Modal y menor en los de Modal Sun.
 - La variable que tiene más influencia para la mejora del UPF de los tejidos es su UPF inicial, es decir, la estructura del tejido original, para todos los tipos de fibra estudiados.
 - El aumento de la concentración del producto produce un incremento en el UPF del tejido, para todos los tipos de fibras. La influencia de esta variable sigue una tendencia notablemente parabólica, de forma que el mismo incremento en la concentración produce aumentos pequeños en el UPF cuando los valores de concentración son bajos y aumentos cada vez mayores cuando las concentraciones van siendo más elevadas. Cuando el UPF inicial de los tejidos es alto se hace evidente que existe una tendencia a la saturación, punto a partir del cual un aumento de la concentración no producirá una variación significativa en el UPF.
 - Existe una notable interacción entre las dos variables, UPF inicial del tejido y concentración del producto de acabado.
 - Para tejidos con UPF inicial bajo, el aumento de la concentración del producto de acabado proporciona muy pequeños incrementos en la respuesta UPF. Pero a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta también se va haciendo más notable el efecto de la concentración del producto y pequeños incrementos en el valor de esta variable producen muy notables mejoras en el UPF. De igual forma, para concentraciones bajas del producto de acabado un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento en la respuesta UPF, pero a medida que aumenta la concentración, el mismo aumento en el UPF inicial irá produciendo mayores incrementos en el UPF final.



- A efectos prácticos, la gran influencia de la interacción de las variables significa que el tratamiento con el producto de acabado permitirá la obtención de tejidos con niveles de buena, muy buena y excelente protección, siempre que se combinen adecuadamente el UPF inicial y la concentración del producto en el tratamiento.
- Se ha estudiado si se podía determinar la forma en que el producto de acabado es absorbido por las fibras, utilizando la técnica de microscopía SEM. No se aprecia ninguna diferencia significativa en el aspecto microscópico de la superficie de los tejidos o fibras de Algodón al ser sometidas al tratamiento de acabado con el producto absorbente de radiación ultravioleta. No se puede afirmar que el acabado cause modificaciones importantes en la superficie de la fibra, ni que se fije a ella mediante deposición, formando una capa sobre su superficie.
- Se ha determinado la permanencia de los efectos del acabado durante la vida útil de los tejidos. La permanencia ha resultado diferente en función del tipo de fibra sobre el que se ha aplicado el producto.
- El producto de acabado es permanente a los lavados repetidos y a la exposición a la luz artificial, cuando se aplica sobre los tejidos de Algodón.
- En los tejidos de Modal el acabado no se ha mostrado permanente a los lavados repetidos, produciéndose una pérdida progresiva de eficacia durante la vida útil del tejido, de forma que no se puede garantizar el nivel inicial de protección. También se producen pequeñas pérdidas de eficacia por la acción de la luz artificial, aunque de menor importancia, ya que no llegan a afectar al nivel de protección del tejido.
- En los tejidos de Modal Sun la permanencia del efecto de acabado no se ve afectada, en general, por los procesos de lavado ni por la exposición a la luz.
- Se ha evaluado la carga ecotoxicológica de los baños de tratamiento con el producto de acabado.
 - > En la evaluación de algunos de los parámetros ecotoxicológicos de los baños residuales del tratamiento de acabado se han encontrado diferencias en función del tipo de fibra. Así, la toxicidad y la concentración de fosfatos del baño de tratamiento de los tejidos de Algodón son algo mayores que las de los baños de Modal y Modal Sun, muy similares entre sí. En cambio, los valores de AOX, TOC, MES y contenido de cloruros son algo inferiores en los baños residuales de tratamiento del Algodón.
 - > La toxicidad de los baños iniciales de tratamiento es muy alta, pero la absorción del producto por los tejidos conduce a baños residuales ligeramente tóxicos. Tomando como referencia las tablas para vertido a cauce público de la Agència Catalana de l'Aigua, los baños residuales de Modal y Modal Sun cumplirían con el



límite de máximo rigor, mientras que el baño residual de Algodón sólo cumpliría con el límite de tolerancia media.

- > Los valores de DQO, DBO, TOC, conductividad y concentración de sulfatos de los baños residuales de tratamiento son excesivamente elevados, superando los límites que se indicaban como referencia límite del vertido en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico y en las tablas de referencia para vertido a cauce público de la Agència Catalana de l'Aigua. El pH es ligeramente más ácido de lo permitido para el vertido de las aguas residuales, aunque no se aleja mucho de los límites. También está ligeramente por encima del límite de máxima tolerancia el AOX de los baños residuales de Modal. Los valores de AOX de los baños residuales de Algodón y Modal, así como todos los valores de MES superan los límites de tolerancia media. Las concentraciones de cloruros y fosfatos de todos los baños residuales están por debajo de los límites de vertido de máximo rigor.
- > Todos los baños presentan valores de biodegradación muy similares entre sí y en torno al 90%. Siendo los valores de biodegradación superiores al 70% puede decirse que el producto de acabado es suficientemente biodegradable o eliminable en plantas de tratamiento de aguas residuales.

