

**CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE UN  
PRODUCTO DE ACABADO ESPECÍFICO  
EN EL FACTOR DE PROTECCIÓN A LA  
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

## 6.1. INTRODUCCIÓN

En la industria textil se han venido utilizando numerosos productos con el objetivo de proteger las fibras de la fotodegradación o de evitar la degradación del color en artículos teñidos o el deterioro del grado de blanco en artículos blanqueados, todo ello causado por la incidencia de la radiación ultravioleta sobre los artículos textiles.

Como materiales protectores de las fibras o de las materias colorantes se utilizan tanto productos orgánicos como inorgánicos.

- Entre los inorgánicos uno de los más utilizados es el óxido de titanio, que tiene una banda de absorción en el UV, entre 280 y 400 nm, y refleja en el visible y en el infrarrojo. Igualmente el óxido de zinc puede usarse para aumentar la capacidad de absorción en el UV. Otros materiales cerámicos que se utilizan también a causa de su reflexión de los rayos UV son el aluminio y los silicatos de aluminio. Los productos inorgánicos suelen emplearse en las fibras sintéticas y se aplican ya en su síntesis o durante el proceso de extrusión.
- Entre los productos orgánicos se utilizan fundamentalmente derivados de benzotriazol, hidrobzofenona y feniltriazina, como componentes básicos (normalmente la composición química completa de los productos comerciales es secreta). Además de productos protectores para la fibra, se usan también productos protectores para evitar la degradación del color y del grado de blanco. Los productos orgánicos suelen aplicarse sobre el tejido bien por procesos de agotamiento o mediante técnicas de tratamiento superficial, por fulardado o por recubrimiento.

Estos productos absorbentes de radiación ultravioleta actúan preferentemente absorbiendo la radiación perjudicial y disipándola como energía térmica. Son compuestos no coloreados con coeficientes de extinción elevados en el rango espectral entre 300 y 400 nm aproximadamente. Los productos usados habitualmente como absorbentes de radiación ultravioleta tienen un puente de hidrógeno intramolecular. Aplicados en la fibra, absorben la porción ultravioleta de la luz, y por acción de la misma pasan a un estado excitado. En este estado el compuesto tiene un equilibrio menor por lo que, por rápidos procesos intramoleculares, se desactiva de forma que vuelve a su estado original. En este proceso la radiación ultravioleta es atrapada por el producto absorbente y disipada en forma de energía térmica <sup>(60)</sup>.

La Figura 6.1 y la Figura 6.2 muestran la estructura general de dos de estos productos absorbentes de radiación ultravioleta, la o-hidroxibzofenona y el hidroxifenilbenzotriazol, así como el mecanismo de excitación causado por la presencia de la radiación UV y vuelta al estado original con desprendimiento de energía térmica <sup>(60)</sup>.



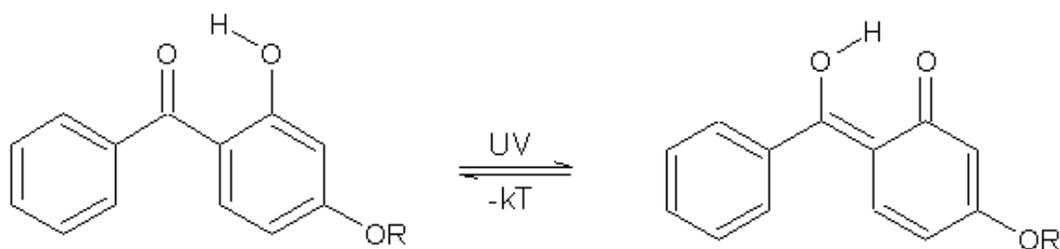


Figura 6.1. Estructura general de la *o*-hidroxibenzofenona

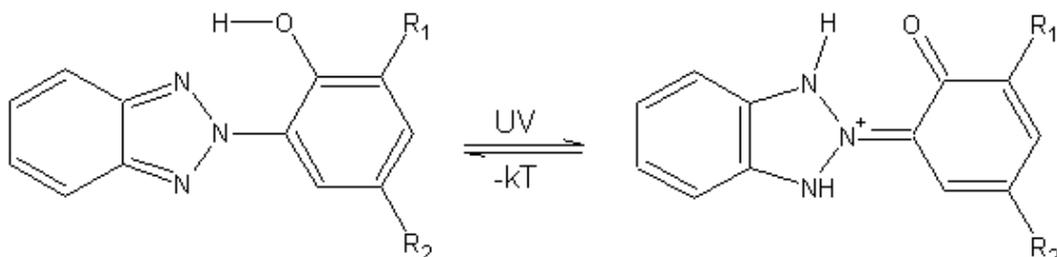


Figura 6.2. Estructura general del hidroxifenilbenzotriazol

Actualmente, algunos de estos productos y otras formulaciones nuevas se han propuesto también para mejorar el bloqueo del paso de la radiación a través de los textiles, es decir, para mejorar su UPF. Es cierto que algunas estructuras químicas que se muestran eficaces en la protección de los polímeros pueden resultar también eficaces como protectoras de la transmisión UV, pero en cambio otras estructuras resultan eficaces para un efecto y no para el otro. La absorción de radiación de determinadas longitudes de onda en el UV por parte de algunos productos químicos puede evitar reacciones de fotooxidación en los materiales poliméricos sobre los que se aplican y, sin embargo, no evitar el paso a través de los mismos de la radiación más nociva para la piel. Existen muy pocos productos comercializados cuya misión específica sea la mejora del UPF y estos pocos tienen como base activa la oxalanilida o el benzotriazol.

Para que un producto de este tipo sea adecuado en su uso para aumentar el factor de protección a la radiación ultravioleta, es importante que su espectro de absorción en dicha región presente bandas de alta absorción prioritariamente en las longitudes de onda correspondientes a la zona del UVB. La radiación en esta zona es la más perjudicial para la piel y, por tanto, se le da un mayor peso en la fórmula de cálculo del UPF. Si el producto químico añadido bloquea la radiación de la zona UVB se mostrará muy eficiente para ser usado en prendas que deban ser etiquetadas como protectoras.

Los acabados especiales que tienen el efecto de absorber los rayos UV deben ser también estables a la degradación, para que el efecto obtenido se mantenga durante la vida útil del tejido.

Esta parte de la tesis se centra en el estudio de la influencia de la presencia de un producto de acabado, específico para mejorar la protección UV, en los valores del UPF de los tejidos. El tipo de producto utilizado y su estructura química, así como la concentración del mismo son los parámetros de los que dependerá la mejora de la



protección proporcionada por los tejidos. Como se ha indicado anteriormente, al realizar un estudio bibliográfico para buscar productos absorbentes de este tipo se ha encontrado que aún no existen muchos en el mercado, apropiados para el tratamiento de fibras celulósicas. Este hecho ha acotado las posibilidades de combinación de los factores influyentes en el proceso, resultando finalmente un estudio de la influencia de la concentración de uno de estos productos absorbentes de UVR, apropiado para el tratamiento de fibras celulósicas. El producto comercial, denominado Tinofast CEL tiene como base un derivado de la oxalanilida, también denominada N,N'-difeniletanodiamida.

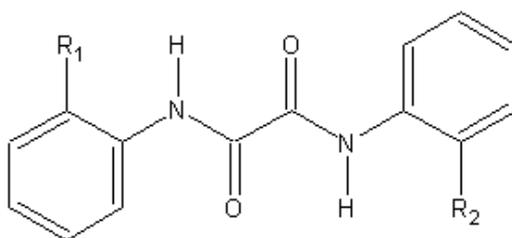


Figura 6.3. Oxalanilida

Se han efectuado tratamientos con el producto absorbente de UVR a diferentes concentraciones, midiéndose la transmitancia difusa de la radiación UV y determinándose el UPF en cada tejido. Se analiza la influencia del producto y su concentración en los valores del UPF de los tejidos estableciendo las relaciones entre ambos parámetros.

Los tratamientos se han realizado sobre tres tejidos escogidos entre los de cada serie correspondiente a las tres fibras estudiadas (Algodón, Modal y Modal Sun), que tienen un UPF inicial bajo. Son adecuados en el estudio para comprobar si la adición del producto de acabado es suficiente para aumentar la protección proporcionada por los tejidos, sin menoscabo de la confortabilidad de las prendas.

En cualquier producto de acabado funcional, es importante también poder certificar que la función que se persigue con dicho acabado se mantenga durante la vida útil de los productos, es decir, evaluar la permanencia del efecto conseguido, en este caso, la protección contra la radiación ultravioleta. Además de cuantificar el efecto producido en la aplicación, será necesario también determinar si dicho efecto se mantiene durante un periodo suficiente, al someter a los tejidos a la acción de agentes que pudieran degradar al producto aplicado. Por razones de tamaño de muestra en este proyecto no se ha podido determinar la solidez del producto a todos los agentes que podría encontrar el tejido durante su vida útil. Se ha determinado la solidez a la acción del principal de dichos agentes, que es el lavado de las prendas. También, y debido a que la luz puede afectar al producto, se ha evaluado si existe degradación del mismo por exposición a la luz artificial.

Por último, se ha dedicado un apartado al estudio de los parámetros ecotoxicológicos de los baños residuales del proceso de acabado con el producto aplicado.



## 6.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 6.2.1. Materia

El estudio de la influencia de la presencia del producto específico de acabado sobre el UPF de los tejidos se ha llevado a cabo sobre tejidos fabricados a partir de las tres fibras estudiadas: Algodón, Modal y Modal Sun. Con ello, se pretende comparar si el efecto producido es diferente en función de la fibra en estudio. Se han utilizado 3 tejidos de cada una de las series descritas en el apartado 2.2.1, con el objetivo de determinar si la influencia del producto es diferente en función del UPF inicial del tejido antes del tratamiento, es decir, si la estructura del tejido original influye en el resultado propio del tratamiento de acabado de los tejidos.

Siguiendo los mismos criterios descritos en los capítulos anteriores, se han seleccionado 3 tejidos entre los disponibles de cada materia (Algodón, Modal y Modal Sun), que tienen un UPF inicial adecuado para el estudio. Con ello se tendrán 3 valores de esta variable, UPF inicial, que corresponderán a los niveles bajo, medio y alto, según se muestra en la tabla siguiente:

Materia	UPF inicial (UPFi)		
	Nivel bajo	Nivel medio	Nivel alto
Algodón	4,06 (10)	4,78 (22)	6,57 (9)
Modal	5,12 (10)	11,39 (26)	15,76 (27)
Modal Sun	12,66 (10)	17,61 (22)	27,54 (16)

Tabla 6.1. UPF inicial de las muestras tratadas

### 6.2.2. Producto de acabado específico

El producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta utilizado es el Tinofast CEL (Ciba). Según la información técnica proporcionada por la empresa, el producto es adecuado para mejorar las propiedades de filtrado de los rayos de sol en artículos de indumentaria textil, así como en su aplicación sobre tejidos técnicos usados para dar sombra y sobre tejidos para el hogar como cortinas. Es un producto reactivo, de excelente grado de agotamiento y fijación, que presenta débil absorción en la zona de longitud de onda larga de UVA, fuerte absorción en la zona de longitud de onda corta de UVA y máxima absorción en la zona de UVB. Sobre su composición química se indica que es un producto con base oxalanilida, de carácter aniónico. Su aplicación se puede realizar por agotamiento o en procesos de pad-batch en frío. Se puede aplicar en combinación con colorantes directos, reactivos o ácidos en un único baño de tinción, o en estampación con colorantes reactivos o ácidos <sup>(63)</sup>.



### 6.2.3. Planificación experimental y fórmula del baño de tratamiento

Al planificar las experiencias para el estudio de la influencia de la presencia del producto de acabado en el UPF de los tejidos se han debido tener en cuenta las siguientes consideraciones.

- a) El estudio se ha llevado a cabo sobre tejidos de tres fibras diferentes, que se han analizado por separado, planificándose un diseño experimental para cada una de las fibras.
- b) Se ha utilizado un único producto de acabado a varias concentraciones. La información técnica aconseja la aplicación del producto en concentraciones entre 1 y 4 % s.p.f. Para el estudio se han tomado los valores mínimo, máximo y dos valores medios dentro del intervalo de concentraciones recomendado, es decir, 1, 2, 3 y 4% s.p.f.

En resumen, se tienen 3 tejidos diferentes, cada uno de los cuales se ha tratado con un producto de acabado a 4 concentraciones diferentes, resultando un total de 12 tratamientos para cada una de las fibras.

La fórmula del baño de tratamiento para cada una de las experiencias es la misma para todas las series de tejidos fabricados con las 3 fibras estudiadas (Algodón, Modal y Modal Sun) y se expone en la Tabla 6.2.

UPF inicial de la muestra	Concentración de producto (% s.p.f.)	Concentración de Sulfato de Sodio (g/l)	Relación de baño
UPFi bajo	1	9	1/20
UPFi bajo	2	9	1/20
UPFi bajo	3	12	1/20
UPFi bajo	4	15	1/20
UPFi medio	1	9	1/20
UPFi medio	2	9	1/20
UPFi medio	3	12	1/20
UPFi medio	4	15	1/20
UPFi alto	1	9	1/20
UPFi alto	2	9	1/20
UPFi alto	3	12	1/20
UPFi alto	4	15	1/20

Tabla 6.2. Fórmulas de los baños de tratamiento



En la Tabla 6.3 se presenta a modo de resumen las variables y sus niveles en el total de las experiencias que se utilizan definitivamente en el análisis estadístico. Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el sistema consta de una primera variable, el UPF inicial de los tejidos (UPFi) con 3 niveles diferentes, y una segunda variable, la concentración del producto de acabado (C) con 5 niveles diferentes (incluyendo el tejido sin tratar).

Muestra nº	UPF inicial de la muestra	Algodón		Modal		Modal Sun	
		UPFi	C	UPFi	C	UPFi	C
1	UPFi bajo	4,06	0	5,12	0	12,66	0
2	UPFi bajo	4,06	1	5,12	1	12,66	1
3	UPFi bajo	4,06	2	5,12	2	12,66	2
4	UPFi bajo	4,06	3	5,12	3	12,66	3
5	UPFi bajo	4,06	4	5,12	4	12,66	4
6	UPFi medio	4,78	0	11,39	0	17,61	0
7	UPFi medio	4,78	1	11,39	1	17,61	1
8	UPFi medio	4,78	2	11,39	2	17,61	2
9	UPFi medio	4,78	3	11,39	3	17,61	3
10	UPFi medio	4,78	4	11,39	4	17,61	4
11	UPFi alto	6,57	0	15,76	0	27,54	0
12	UPFi alto	6,57	1	15,76	1	27,54	1
13	UPFi alto	6,57	2	15,76	2	27,54	2
14	UPFi alto	6,57	3	15,76	3	27,54	3
15	UPFi alto	6,57	4	15,76	4	27,54	4

Tabla 6.3. Variables y niveles del análisis estadístico (Influencia del producto de acabado)

#### 6.2.4. Proceso de tratamiento con el producto de acabado

El proceso seguido para el tratamiento con el producto de acabado específico es un proceso convencional por agotamiento con subida de temperatura desde 30°C hasta 96°C, adición de sulfato de sodio, tiempo de tratamiento de 60 minutos a la temperatura máxima y enfriamiento del baño. Los tratamientos se han realizado en un aparato Linitest.

El esquema del proceso se muestra en la Figura 6.4.



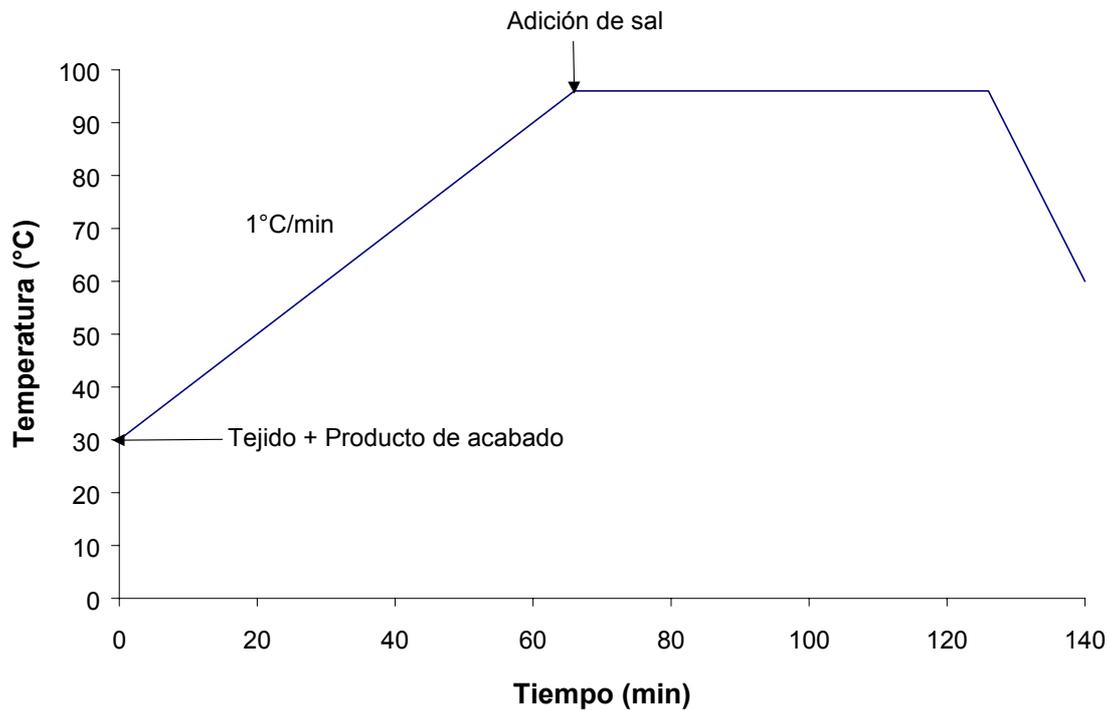


Figura 6.4. Proceso de tratamiento con el producto de acabado

## 6.2.5. Determinación de la permanencia del efecto de acabado

### 6.2.5.1. Permanencia del acabado tras lavados repetidos

Una vez realizado el tratamiento de acabado, se han preparado muestras de tejido no tratado y de cada uno de los tejidos tratados a las diferentes concentraciones, para ser sometidas al ensayo de lavados repetidos. Se ha realizado este ensayo con los tejidos correspondientes al de más bajo UPF inicial de cada una de las series de Algodón, Modal y Modal Sun.

El tratamiento de lavado se ha realizado en un aparato Linitest, según las indicaciones de la norma UNE-EN-ISO 105-C06: 1997: "Solidez del color al lavado doméstico y comercial" <sup>(64)</sup>. El ensayo utilizado es el A2S, con las siguientes condiciones:

- Temperatura: 40°C
- Tiempo: 30 minutos
- Volumen del baño de lavado: 150 ml
- Cloro activo: no
- Perborato de sodio: 1 g/l
- Detergente ECE, exento de blanqueador óptico: 4 g/l
- N° de bolas de acero: 10



El proceso se ha repetido con las mismas muestras de tejidos hasta un total de 25 lavados. Se ha medido el UPF de las muestras después de 1, 3, 5, 10, 15 y 25 lavados.

#### **6.2.5.2. Permanencia del acabado tras exposición a la luz**

Una vez realizado el tratamiento de acabado, se han preparado muestras del tejido no tratado y de cada uno de los tejidos tratados a las diferentes concentraciones, para ser sometidas al ensayo de exposición a la luz. Se ha realizado este ensayo con los tejidos correspondientes al de más bajo UPF inicial de cada una de las series de Algodón, Modal y Modal Sun.

Se ha utilizado un aparato con lámpara de Xenón (Xenotest 150 S) para simular la acción de la luz solar (día-noche) sobre las muestras de tejidos. Se han seguido las indicaciones de la norma UNE-EN-ISO 105-B02: 2001: "Solidez del color a la luz artificial: Lámpara de arco de Xenón" <sup>(65)</sup>. El ensayo se ha realizado según las condiciones de exposición habituales en Europa (condiciones normales). Son las siguientes:

- Humedad efectiva moderada: aproximadamente 45%
- Temperatura máxima de referencia negra: 50°C
- Temperatura de cámara: aproximadamente 20°C

La exposición a la luz artificial se ha llevado a cabo hasta un tiempo total de 500 horas. Se ha medido el UPF de las muestras después de 100, 200, 300, 400 y 500 horas de exposición.

#### **6.2.6. Determinación de la carga ecotoxicológica del tratamiento**

Después de los tratamientos se han recogido los baños residuales para analizar los parámetros ecotoxicológicos más representativos con el objetivo de determinar la carga contaminante del proceso de acabado.

Debido a la gran cantidad de parámetros ecotoxicológicos a determinar, se ha decidido analizar comparativamente los baños residuales del tratamiento con la concentración del 2% s.p.f. de Tinofast CEL (una de las más habitualmente utilizadas en la práctica industrial) sobre las tres fibras estudiadas Algodón, Modal y Modal Sun.

Para comparar los resultados se han analizado también los baños iniciales de tratamiento. Se han preparado muestras del baño conteniendo únicamente agua y Tinofast CEL al 2% s.p.f. y también conteniendo agua, Tinofast CEL al 2% s.p.f. y la sal utilizada Sulfato de Sodio en una concentración de 15 g/l.



### 6.2.7. Parámetros determinados

Los parámetros determinados son los siguientes:

- A. Para definir la relación entre la concentración del producto y el UPF de los tejidos, se han determinado:
  - 1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible de los baños de tratamiento
  - 2. Espectros de transmisión de radiación a través de los tejidos en la región del ultravioleta
  - 3. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos
- B. Para dilucidar la forma de unión del producto de acabado con las fibras y si se produce modificación de la superficie de las mismas, se ha determinado:
  - 4. Microscopía SEM de tejidos tratados y no tratados
- C. Para estudiar la permanencia del acabado durante la vida útil del tejido, se han determinado:
  - 5. UPF de los tejidos después de la realización de lavados repetidos
  - 6. UPF de los tejidos después de la exposición a la luz artificial
- D. Para evaluar si el tratamiento con el producto de acabado produce una elevada carga ecotoxicológica, en los baños residuales del tratamiento se han evaluado los parámetros que la experiencia indica que son apropiados por las características de la industria química textil:
  - 7. Inhibición de la movilidad en Daphnia
  - 8. Demanda Química de Oxígeno (DQO)
  - 9. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)
  - 10. Compuestos Orgánicos Halogenados (AOX)
  - 11. Carbono Orgánico Total (TOC)
  - 12. Materias en suspensión (MES)
  - 13. Cloruros
  - 14. pH
  - 15. Conductividad
  - 16. Biodegradación
  - 17. Fosfatos
  - 18. Sulfatos

La descripción de las normas empleadas y métodos operativos para la evaluación de los parámetros determinados puede consultarse en el Capítulo 8 de la tesis.



## 6.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se exponen los resultados obtenidos en esta parte de la tesis, dedicada al estudio de la influencia de la presencia de productos específicos de acabado sobre la protección que los tejidos proporcionan contra el paso de la radiación ultravioleta.

En el apartado 6.3.1.1 se exponen los resultados referentes a los parámetros determinados en los baños y los diferentes tejidos tratados y no tratados: espectros de absorción UV-Vis, espectros de transmisión en el UV y UPF de los tejidos. Seguidamente, en el apartado 6.3.1.2, se realiza el análisis estadístico de los resultados obteniéndose los modelos matemáticos que relacionan el UPF con las variables del sistema (UPF inicial del tejido y concentración del producto de acabado), analizando las diferencias entre las tres fibras que se han estudiado.

La naturaleza de la unión entre el producto de acabado y las fibras celulósicas se ha intentado dilucidar en el apartado 6.3.2. Asimismo, el apartado 6.3.3 muestra los resultados obtenidos en el estudio de la permanencia del acabado sobre los tejidos tratados. Y, por último, se exponen los resultados del análisis de las aguas residuales del tratamiento de acabado en el apartado 6.3.4.

Los modelos obtenidos para la respuesta UPF y los resultados de los posteriores apartados, permitirán definir las condiciones óptimas para producir el mayor y más permanente efecto protector posible contra el paso de la radiación ultravioleta.

### 6.3.1. Estudio de la Respuesta UPF del tejido en función de la concentración del producto de acabado

#### 6.3.1.1. Resultados en la determinación de los parámetros

##### 6.3.1.1.1. Espectros de absorción en el ultravioleta-visible del baño de tratamiento

La Figura 6.5 muestra los espectros de absorción de disoluciones de concentración 0,2 g/l del producto de acabado Tinofast CEL en la región del ultravioleta (190-400 nm) del espectro electromagnético.

El espectro de absorción en el ultravioleta muestra que existe una absorción máxima en la zona del ultravioleta UVC de longitudes de onda bajas (190 nm). La absorción va decreciendo hasta llegar a un mínimo a aproximadamente 245 nm, para luego volver a subir hasta llegar a un segundo máximo en la longitud de onda límite entre las zonas del UVC y UVB, es decir, a 290 nm. La absorción en esta zona del UVC, sin embargo, no tiene ninguna influencia en el valor del UPF.



En el inicio de la región del UVB, como se ha indicado, se sitúa el segundo máximo de absorción, a partir del cual la absorción va decreciendo a medida que aumenta la longitud de onda, hasta hacerse nula en el límite entre la región ultravioleta y la visible, a 400 nm. Aunque la absorción en la zona del UVA es baja, el producto de acabado absorbe una gran cantidad de radiación en la zona del UVB, lo que lo hace muy indicado para la mejora del factor de protección al absorber preferente la radiación en la zona más perjudicial para la piel y que mayor influencia tiene en el cálculo del Factor de Protección de los tejidos.

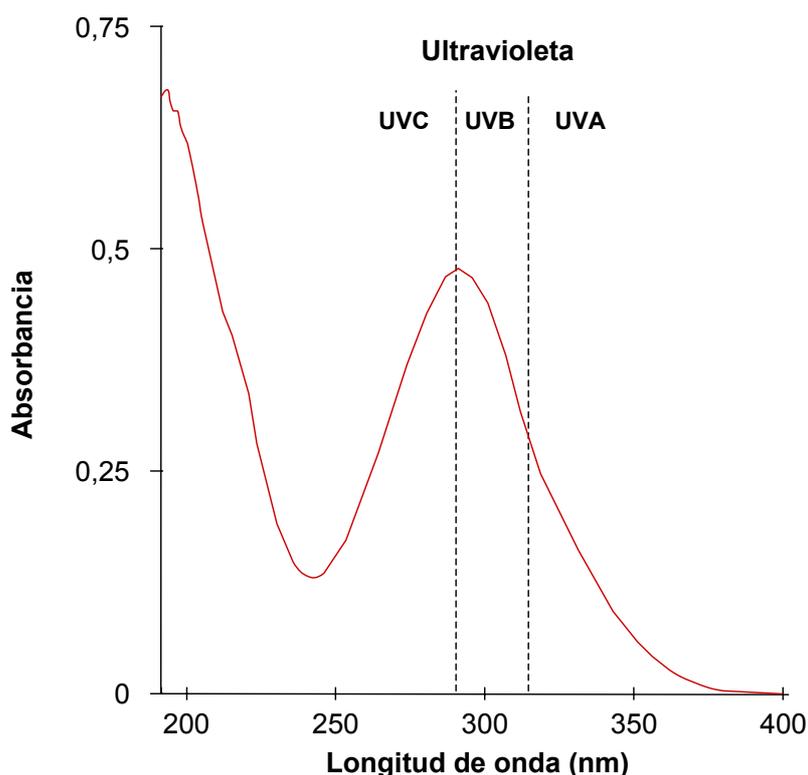


Figura 6.5. Espectro de absorción en el ultravioleta

### 6.3.1.1.2. Espectros de transmisión de radiación de los tejidos en la región del ultravioleta

#### 6.3.1.1.2.1. Tejidos de Algodón

La Figura 6.6 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón no tratados utilizados en esta parte del trabajo experimental (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con el producto de acabado a las diferentes concentraciones.



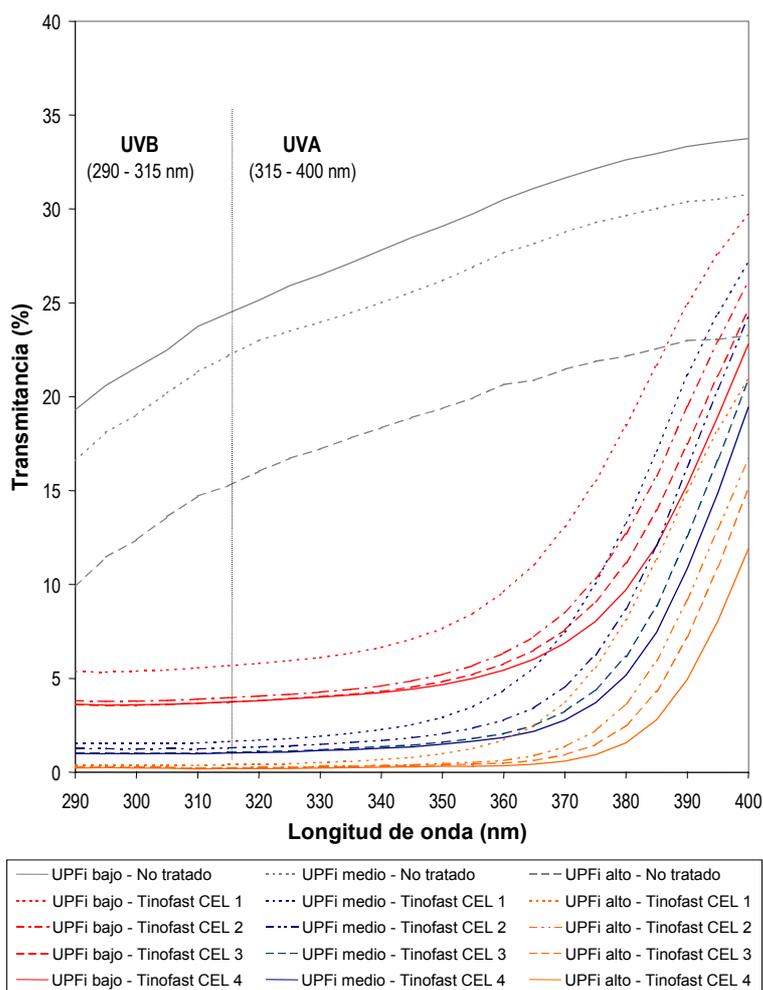


Figura 6.6. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón tratados

Se puede observar que los tejidos de Algodón no tratados presentan una curva característica de transmitancia siempre creciente y sin inflexiones. Las transmitancias van aproximadamente del 19% a 290 nm hasta el 34% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta la compacidad de los tejidos (y, por lo tanto, su UPF inicial), situándose entre el 17 y 27% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 10 y 23% para el tejido con UPF inicial alto.

La adición del producto de acabado hace disminuir las transmitancias en todas las longitudes de onda del espectro ultravioleta, y varía la forma de la curva característica de los tejidos de Algodón. Se observa que dicho producto hace disminuir muy notablemente la radiación, particularmente en la zona del UVB, por lo que se puede predecir que mejorará sustancialmente la protección proporcionada por los tejidos. Las curvas de transmisión de todos los tejidos tratados presentan una forma similar, prácticamente plana en el UVB y hasta 350 – 360 nm en la zona UVA, aumentando progresivamente a partir de esta longitud de onda y hasta la zona del visible.

Las curvas también nos muestran que la transmisión de radiación ultravioleta a través de los tejidos es menor a medida que aumenta la concentración del producto.



Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.4.

Muestra nº	Características de la muestra			T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
1	No tratado	UPFi bajo	0	29,76	22,01	27,97
2	Tinofast CEL	UPFi bajo	1	13,13	5,63	11,49
3	Tinofast CEL	UPFi bajo	2	9,67	4,01	8,44
4	Tinofast CEL	UPFi bajo	3	8,98	3,87	7,87
5	Tinofast CEL	UPFi bajo	4	8,07	3,71	7,12
6	No tratado	UPFi medio	0	25,22	19,03	23,79
7	Tinofast CEL	UPFi medio	1	8,39	1,59	6,91
8	Tinofast CEL	UPFi medio	2	6,29	1,25	5,19
9	Tinofast CEL	UPFi medio	3	5,03	1,06	4,16
10	Tinofast CEL	UPFi medio	4	4,48	1,03	3,73
11	No tratado	UPFi alto	0	19,91	12,87	18,27
12	Tinofast CEL	UPFi alto	1	5,19	0,38	4,14
13	Tinofast CEL	UPFi alto	2	3,13	0,24	2,50
14	Tinofast CEL	UPFi alto	3	2,53	0,24	2,04
15	Tinofast CEL	UPFi alto	4	1,92	0,22	1,55

Tabla 6.4. Transmisiones medias de los tejidos de Algodón tratados

En la tabla se observa una disminución significativa de todas las transmisiones medias al aplicar el producto de acabado sobre los tejidos de Algodón. Las transmisiones disminuyen al aumentar la concentración del producto de acabado y al aumentar el UPF inicial del tejido. También se produce un efecto sinérgico de estas dos variables que hace que el bloqueo de la radiación se acelere al aumentar concentración y UPF inicial a la vez.

Particularmente interesante es el hecho de que las mayores diferencias entre las transmisiones de los tejidos no tratados y tratados se den en las transmisiones medias en el UVB, que es la radiación que se ha demostrado más perjudicial para la piel.

En un buen número de los tejidos tratados se consigue una disminución de la transmisión media T<sub>UVR</sub> hasta valores inferiores al 6,7% que, según, la norma AS/NZ 4399:1996, es la transmisión orientativa mínima para que el tejido se pueda considerar protector. También se consiguen en algunos casos transmisiones inferiores al 4,1% (muy buena protección) y al 2,5% (excelente protección). Es decir, la adición del producto de acabado se muestra un medio que puede ser efectivo para aumentar el UPF de los tejidos, siempre que se escojan adecuadamente las condiciones del tratamiento.

#### 6.3.1.1.2.2. Tejidos de Modal

La Figura 6.7 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no tratados utilizados en esta parte de la tesis (tejidos



con UPFi inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con el producto de acabado a las diferentes concentraciones.

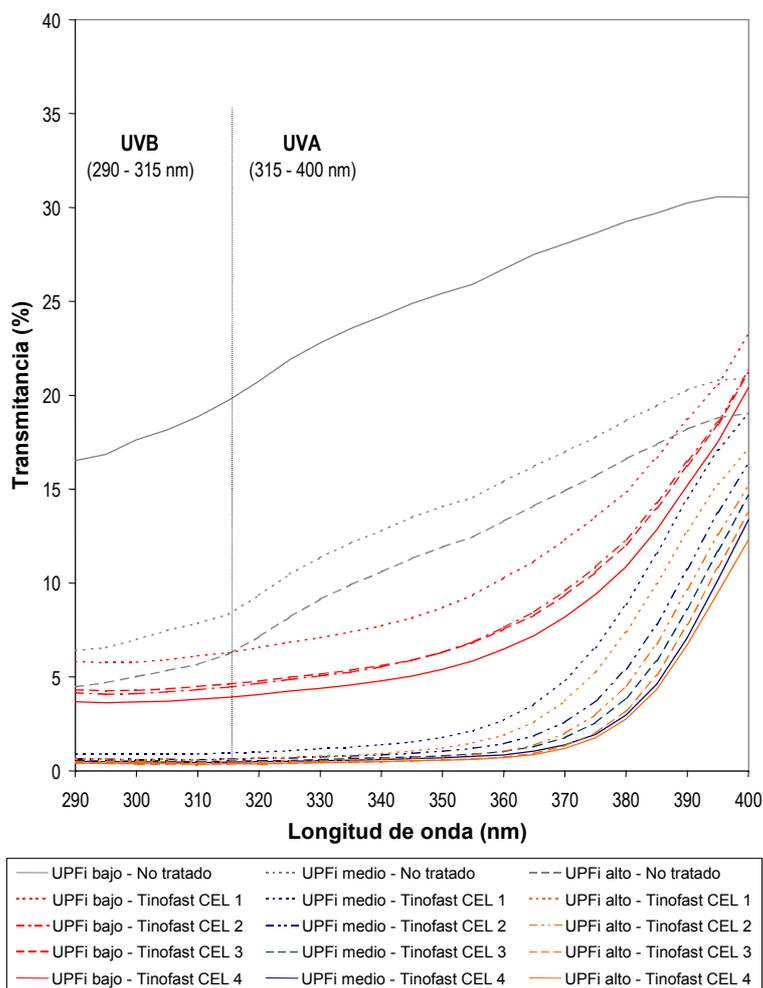


Figura 6.7. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal tratados

Se puede observar que los tejidos de Modal no tratados presentan una curva característica de transmitancia siempre creciente y sin inflexiones, muy similar a las obtenidas para los tejidos de Algodón, aunque de valores ligeramente más bajos. Las transmitancias van aproximadamente del 17% a 290 nm hasta el 30% a 400 nm, en el caso del tejido con UPFi inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta la compacidad de los tejidos (y, por lo tanto, su UPFi inicial), situándose entre el 7 y 21% para el tejido con UPFi inicial medio y entre el 4 y 19% para el tejido con UPFi inicial alto.

El efecto producido por la adición del producto de acabado sobre los tejidos de Modal es equiparable al obtenido sobre los tejidos de Algodón, si bien la disminución en los valores de transmitancia de los tejidos tratados con respecto a los no tratados, en general, es menor en el caso de la fibra de Modal, probablemente debido a que se parte de tejidos con una menor transmisión en este último caso. Las curvas de transmisión de todos los tejidos tratados presentan una forma similar, prácticamente plana en el UVB y hasta 350



– 360 nm en la zona UVA, aumentando progresivamente a partir de esta longitud de onda y hasta la zona del visible.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.5.

Muestra nº	Características de la muestra			T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
1	No tratado	UPFi bajo	0	26,12	17,95	24,27
2	Tinofast CEL	UPFi bajo	1	11,75	6,00	10,48
3	Tinofast CEL	UPFi bajo	2	9,38	4,23	8,25
4	Tinofast CEL	UPFi bajo	3	9,07	4,18	8,00
5	Tinofast CEL	UPFi bajo	4	8,74	4,03	7,71
6	No tratado	UPFi medio	0	15,16	7,26	13,40
7	Tinofast CEL	UPFi medio	1	5,61	0,87	4,58
8	Tinofast CEL	UPFi medio	2	3,93	0,60	3,20
9	Tinofast CEL	UPFi medio	3	3,13	0,51	2,56
10	Tinofast CEL	UPFi medio	4	2,73	0,50	2,24
11	No tratado	UPFi alto	0	13,05	5,23	11,30
12	Tinofast CEL	UPFi alto	1	4,67	0,60	3,79
13	Tinofast CEL	UPFi alto	2	3,40	0,44	2,76
14	Tinofast CEL	UPFi alto	3	2,83	0,38	2,30
15	Tinofast CEL	UPFi alto	4	2,48	0,39	2,03

Tabla 6.5. Transmisiones medias de los tejidos de Modal tratados

De igual forma que para los tejidos de Algodón, la adición del producto de acabado sobre los tejidos de Modal se muestra un medio muy efectivo para aumentar el UPF de los tejidos. En la tabla se observa una disminución significativa de todas las transmisiones medias al aplicar el producto de acabado, si bien los valores son algo más altos que los obtenidos para los tejidos de Algodón. También para esta fibra, las transmisiones disminuyen al aumentar la concentración y al aumentar el UPF inicial del tejido y se produce una disminución más notable en las transmisiones medias en la zona del UVB.

También en los tejidos de Modal tratados se consigue una disminución de la transmisión media T<sub>UVR</sub> hasta valores inferiores al 6,7%, al 4,1% y al 2,5%, valores orientativos según la norma AS/NZ 4399:1996, para obtener buena, muy buena y excelente protección respectivamente.

#### 6.3.1.1.2.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 6.8 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no tratados utilizados en esta parte de la tesis (tejidos con UPF inicial bajo, medio y alto), así como los espectros de dichos tejidos tratados con el producto de acabado a las diferentes concentraciones.



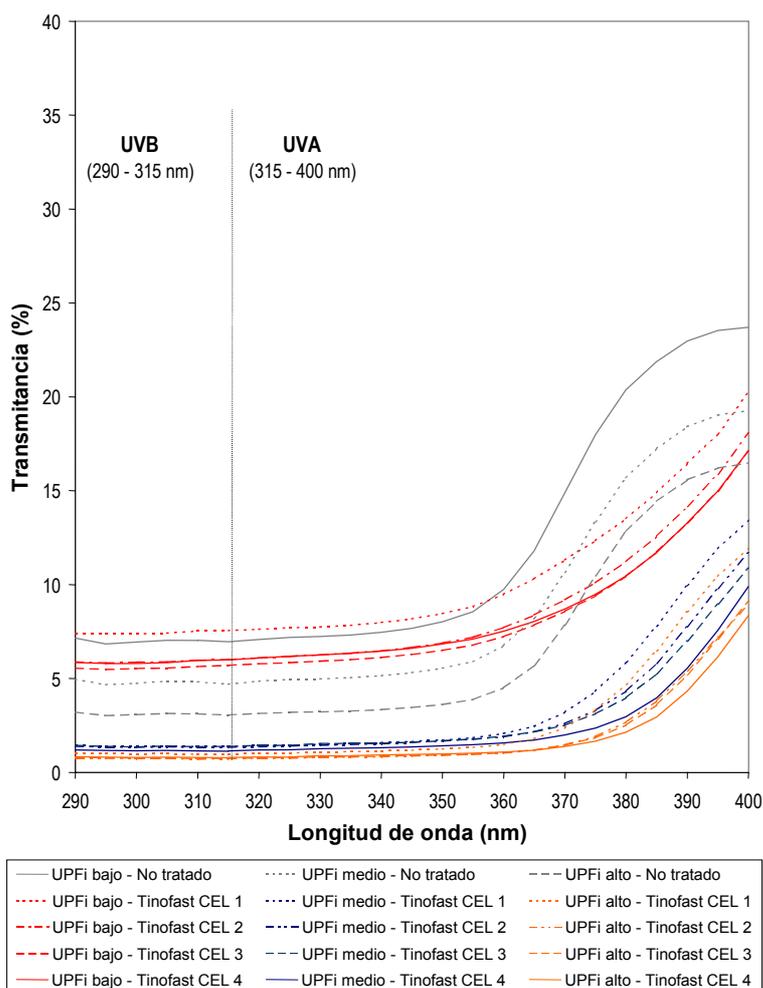


Figura 6.8. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tratados

Se puede observar que los tejidos de Modal Sun no tratados presentan una curva característica de transmitancia de forma casi plana hasta una longitud de onda de 350 – 360 nm, a partir de la cual sube rápidamente. Esta curva característica es muy diferente de las obtenidas para Algodón y Modal, e indica que la fibra de Modal Sun en crudo bloquea una mayor proporción de radiación ultravioleta en la zona UVB y en longitudes de onda bajas del UVA que el resto de las fibras estudiadas. Las transmitancias van aproximadamente del 7% a 290 nm hasta el 23% a 400 nm, en el caso del tejido con UPF inicial bajo, y disminuyen a medida que aumenta la compacidad de los tejidos (y, por lo tanto, su UPF inicial), situándose entre el 5 y 19% para el tejido con UPF inicial medio y entre el 3 y 16% para el tejido con UPF inicial alto.

El efecto producido por la adición del producto de acabado presenta algún resultado curioso. El tejido de UPF inicial bajo y tratado con Tinofast CEL al 1% s.p.f. presenta una mayor transmisión que el tejido no tratado hasta aproximadamente 360 nm de longitud de onda. El tratamiento de este mismo tejido con concentraciones mayores o el tratamiento de los tejidos con UPF inicial medio y alto a cualquier concentración produce, en cambio, una disminución de la transmisión, aunque el efecto no es tan notable como el observado



en los tejidos de Algodón y Modal. Parece que el efecto del producto enmascara un poco el producido por la propia fibra, que ya tiene un producto absorbente incorporado en la hilatura.

De todas formas se puede afirmar que, en general, el efecto del producto de acabado sobre los tejidos de Modal Sun produce una disminución de la transmisión de radiación ultravioleta a través del tejido.

Las curvas de transmisión de todos los tejidos tratados presentan una forma similar, prácticamente plana en el UVB y hasta 350 – 360 nm en la zona UVA, aumentando progresivamente a partir de esta longitud de onda y hasta la zona del visible.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.6.

Muestra nº	Características de la muestra			T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
1	No tratado	UPFi bajo	0	13,02	6,99	11,71
2	Tinofast CEL	UPFi bajo	1	10,57	7,06	9,81
3	Tinofast CEL	UPFi bajo	2	9,41	6,11	8,69
4	Tinofast CEL	UPFi bajo	3	8,53	5,48	7,86
5	Tinofast CEL	UPFi bajo	4	8,50	5,58	7,86
6	No tratado	UPFi medio	0	9,72	4,79	8,65
7	Tinofast CEL	UPFi medio	1	4,25	1,42	3,63
8	Tinofast CEL	UPFi medio	2	3,58	1,38	3,10
9	Tinofast CEL	UPFi medio	3	3,39	1,42	2,96
10	Tinofast CEL	UPFi medio	4	2,77	1,18	2,43
11	No tratado	UPFi alto	0	7,45	3,10	6,51
12	Tinofast CEL	UPFi alto	1	3,33	0,95	2,81
13	Tinofast CEL	UPFi alto	2	2,31	0,74	1,97
14	Tinofast CEL	UPFi alto	3	2,22	0,74	1,90
15	Tinofast CEL	UPFi alto	4	2,06	0,82	1,79

Tabla 6.6. Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun tratados

Los resultados del cálculo de las transmisiones medias corroboran lo apreciado en las curvas de transmitancia. A pesar de que las transmisiones T<sub>UVA</sub> y T<sub>UVR</sub> para el tejido con UPF inicial bajo tratado con un 1% s.p.f. del producto Tinofast CEL son más bajas que para el tejido no tratado, se produce un aumento de la transmisión media T<sub>UVB</sub> en este tejido, que seguramente irá en detrimento de la protección que proporcione, ya que la zona UVB es la que tiene más peso en la fórmula de cálculo del UPF de un tejido.

En el resto de las muestras se observa, en general, una disminución de las transmisiones medias al aplicar el producto de acabado, aunque las diferencias entre los tejidos tratados y no tratados no son tan notables como las obtenidas para los tejidos de Algodón y Modal. Incluso para esta fibra, en muchos casos no se produce una disminución tan



notable de las transmisiones al aumentar la concentración del producto, sobretodo en el caso de las transmisiones  $T_{UVB}$ .

Con el tratamiento de los tejidos de Modal Sun se consigue también una disminución de la transmisión media  $T_{UVR}$  hasta valores inferiores al 6,7%, al 4,1% y al 2,5%, valores orientativos según la norma AS/NZ 4399:1996, para obtener buena, muy buena y excelente protección respectivamente.

### 6.3.1.1.3. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos (UPF)

#### 6.3.1.1.3.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Algodón tratados con el producto de acabado se exponen en la Tabla 6.7.

Muestra nº	Características de la muestra			Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
1	No tratado	UPFi bajo	0	4,06	1
2	Tinofast CEL	UPFi bajo	1	14,86	10
3	Tinofast CEL	UPFi bajo	2	21,13	20
4	Tinofast CEL	UPFi bajo	3	21,04	20
5	Tinofast CEL	UPFi bajo	4	23,42	20
6	No tratado	UPFi medio	0	4,78	1
7	Tinofast CEL	UPFi medio	1	48,82	45
8	Tinofast CEL	UPFi medio	2	64,38	50+
9	Tinofast CEL	UPFi medio	3	75,80	50+
10	Tinofast CEL	UPFi medio	4	77,11	50+
11	No tratado	UPFi alto	0	6,57	5
12	Tinofast CEL	UPFi alto	1	159,49	50+
13	Tinofast CEL	UPFi alto	2	267,86	50+
14	Tinofast CEL	UPFi alto	3	297,13	50+
15	Tinofast CEL	UPFi alto	4	344,02	50+

Tabla 6.7. UPF de los tejidos de Algodón tratados

En la tabla se puede observar que la aplicación del producto de acabado a cualquiera de las concentraciones estudiadas produce una mejora del UPF de los tejidos de Algodón.

Cuando se parte del tejido de Algodón más ligero, con un UPF inicial  $UPFi = 4,06$  (tejido con aproximadamente  $95 \text{ g/m}^2$  y 89% de cobertura), es necesaria una concentración mínima del 2% s.p.f. del producto para conseguir una buena protección en el tejido. Además, un incremento mayor de la concentración no produce ningún efecto notable en el factor de protección, no aumenta la categoría de clasificación del tejido en función de su protección.



Al incrementar ligeramente el UPF inicial del tejido hasta UPFi = 4,78 (tejido con 122 g/m<sup>2</sup> y 94% de cobertura) cualquier concentración del producto de acabado permite obtener tejidos bastante ligeros con excelente protección.

Resumiendo, la aplicación del producto de acabado es muy eficiente en la mejora del UPF de los tejidos. Únicamente el tejido con UPF inicial bajo y tratado con el 1% s.p.f. del producto no consigue la protección mínima contemplada en la norma AS/NZ 4339:1996 para considerar a un tejido protector.

### 6.3.1.1.3.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal tratados con el producto de acabado se exponen en la Tabla 6.8.

Muestra nº	Características de la muestra			Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
1	No tratado	UPFi bajo	0	5,12	5
2	Tinofast CEL	UPFi bajo	1	14,71	10
3	Tinofast CEL	UPFi bajo	2	20,12	20
4	Tinofast CEL	UPFi bajo	3	20,02	20
5	Tinofast CEL	UPFi bajo	4	20,25	20
6	No tratado	UPFi medio	0	11,39	10
7	Tinofast CEL	UPFi medio	1	84,37	50+
8	Tinofast CEL	UPFi medio	2	124,18	50+
9	Tinofast CEL	UPFi medio	3	150,91	50+
10	Tinofast CEL	UPFi medio	4	161,53	50+
11	No tratado	UPFi alto	0	15,76	15
12	Tinofast CEL	UPFi alto	1	121,08	50+
13	Tinofast CEL	UPFi alto	2	163,86	50+
14	Tinofast CEL	UPFi alto	3	193,54	50+
15	Tinofast CEL	UPFi alto	4	198,68	50+

Tabla 6.8. UPF de los tejidos de Modal tratados

Según los resultados expuestos en la tabla, la aplicación del producto de acabado a cualquiera de las concentraciones, produce una mejora del UPF de los tejidos de Modal.

Si bien los valores de UPF obtenidos son algo inferiores, la clasificación según la protección de los tejidos tratados de Modal es totalmente equiparable a la obtenida para los tejidos de Algodón.

Cuando se parte del tejido de Modal más ligero, con un UPF inicial muy bajo UPFi = 5,12 (tejido con aproximadamente 107 g/m<sup>2</sup> y 85% de cobertura), únicamente el tejido tratado con una concentración del 1% s.p.f. no tiene un factor de protección suficiente. Si se trata el tejido con una concentración entre el 2 y el 4% s.p.f. del producto de acabado, el tejido bloquea la radiación ultravioleta lo suficiente para ser considerado buen protector.



Cuando se toma como base un tejido con un UPF inicial = 11,39 (tejido con aproximadamente 193 g/m<sup>2</sup> y 92% de cobertura) o mayor, se consiguen tejidos con excelente protección para cualquier concentración del producto aplicada.

### 6.3.1.1.3.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tratados con el producto de acabado se exponen en la Tabla 6.9.

Muestra nº	Características de la muestra			Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
1	No tratado	UPFi bajo	0	12,66	10
2	Tinofast CEL	UPFi bajo	1	12,22	10
3	Tinofast CEL	UPFi bajo	2	14,48	10
4	Tinofast CEL	UPFi bajo	3	15,99	15
5	Tinofast CEL	UPFi bajo	4	15,65	15
6	No tratado	UPFi medio	0	17,61	15
7	Tinofast CEL	UPFi medio	1	59,60	50+
8	Tinofast CEL	UPFi medio	2	62,75	50+
9	Tinofast CEL	UPFi medio	3	62,73	50+
10	Tinofast CEL	UPFi medio	4	74,33	50+
11	No tratado	UPFi alto	0	27,54	25
12	Tinofast CEL	UPFi alto	1	88,89	50+
13	Tinofast CEL	UPFi alto	2	116,82	50+
14	Tinofast CEL	UPFi alto	3	115,88	50+
15	Tinofast CEL	UPFi alto	4	104,00	50+

Tabla 6.9. UPF de los tejidos de Modal Sun tratados

Los resultados obtenidos para la serie de tejidos de Modal Sun confirman las apreciaciones facilitadas por las curvas de transmitancia de dichos tejidos. El tejido con UPF inicial bajo y tratado con un 1% s.p.f. del producto de acabado proporciona un Factor de Protección menor que el tejido no tratado. Sin embargo, la disminución en el UPF es muy poco importante y no afecta al Índice UPF del tejido. Todas las demás muestras tratadas han obtenido mejores UPF que los tejidos no tratados.

Cuando se parte del tejido de Modal Sun más ligero, con un UPF inicial = 12,66 relativamente bajo para esta serie de tejidos (tejido con aproximadamente 102 g/m<sup>2</sup> y 88% de cobertura), el aumento de la protección proporcionada por los tejidos no es suficiente cuando se han tratado con un 1 o un 2% s.p.f. Para concentraciones mayores sí que se consiguen tejidos con niveles de buena protección, aunque los valores obtenidos son muy cercanos a 15.

Al incrementar el UPF inicial del tejido hasta UPFi = 17,61 (tejido con aproximadamente 129 g/m<sup>2</sup> y 91% de cobertura) y hasta UPFi = 27,54 (tejido con aproximadamente 156



g/m<sup>2</sup> y 95% de cobertura), el tratamiento con el producto de acabado a cualquiera de las concentraciones produce que una mejora hasta el nivel de protección excelente.

Sin embargo, si se tiene en cuenta que los UPF iniciales de partida son bastante mayores para los tejidos de Modal Sun que para los tejidos de Algodón y de Modal, se puede concluir que el aumento producido por la aplicación del producto de acabado es inferior en esta serie de Modal Sun que el que se consigue para las otras dos fibras en estudio. También los valores absolutos de UPF en los tejidos de Modal Sun son menores.

### 6.3.1.2. Análisis estadístico de los resultados

#### 6.3.1.2.1. Diseño experimental: variables y niveles de las variables

Para cada serie de tejidos de diferente fibra, el diseño experimental consta de dos variables cuantitativas. La primera de ellas es el UPF inicial de los tejidos (UPFi) con 3 niveles diferentes, y la segunda la concentración del producto de acabado específico (C) con 5 niveles diferentes, al incluirse los tejidos tratados a 4 concentraciones y el tejido no tratado.

Se recuerdan en la Tabla 6.10, los experimentos de que consta el diseño, con las variables y niveles de las variables correspondientes a cada punto experimental que se utilizarán en el análisis estadístico.

Fórmula nº	Características de la muestra	Algodón		Modal		Modal Sun	
		UPFi	C	UPFi	C	UPFi	C
1	UPFi bajo	4,06	0	5,12	0	12,66	0
2	UPFi bajo	4,06	1	5,12	1	12,66	1
3	UPFi bajo	4,06	2	5,12	2	12,66	2
4	UPFi bajo	4,06	3	5,12	3	12,66	3
5	UPFi bajo	4,06	4	5,12	4	12,66	4
6	UPFi medio	4,78	0	11,39	0	17,61	0
7	UPFi medio	4,78	1	11,39	1	17,61	1
8	UPFi medio	4,78	2	11,39	2	17,61	2
9	UPFi medio	4,78	3	11,39	3	17,61	3
10	UPFi medio	4,78	4	11,39	4	17,61	4
11	UPFi alto	6,57	0	15,76	0	27,54	0
12	UPFi alto	6,57	1	15,76	1	27,54	1
13	UPFi alto	6,57	2	15,76	2	27,54	2
14	UPFi alto	6,57	3	15,76	3	27,54	3
15	UPFi alto	6,57	4	15,76	4	27,54	4

Tabla 6.10. Variables y niveles en el análisis estadístico (Influencia del producto de acabado)



### 6.3.1.2.2. Codificación de las variables

Tal como se indicó en el apartado 2.3.1.2.1. la codificación de las variables del sistema es un factor importante para la correcta estimación de los coeficientes significativos en los modelos que describen el comportamiento de la respuesta en función de las variables, así como para la posterior interpretación de los resultados.

Los niveles de las variables del sistema en el estudio de la influencia del producto de acabado sobre el valor de la respuesta UPF, no permiten su codificación al no ser valores equidistantes.

La solución adoptada ha sido realizar una pseudocodificación de las variables, en la que se ha aplicado a cada nivel de cada variable las fórmulas que se muestran a continuación

#### 6.3.1.2.2.1. Algodón

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Algodón, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFia = \frac{UPFia - 5,2945}{1,2725} \quad cCa = \frac{Ca - 2}{1}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Algodón que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPFi	cC	Muestra nº	cUPFi	cC	Muestra nº	cUPFi	cC
1	-1,0000	-2	6	-0,4020	-2	11	1,0000	-2
2	-1,0000	-1	7	-0,4020	-1	12	1,0000	-1
3	-1,0000	0	8	-0,4020	0	13	1,0000	0
4	-1,0000	1	9	-0,4020	1	14	1,0000	1
5	-1,0000	2	10	-0,4020	2	15	1,0000	2

Tabla 6.11. Variables codificadas Algodón

#### 6.3.1.2.2.2. Modal

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Modal, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFim = \frac{UPFim - 10,441}{5,317} \quad cCm = \frac{Cm - 2}{1}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Modal que se exponen en la tabla siguiente:



Muestra nº	cUPFi	cC	Muestra nº	cUPFi	cC	Muestra nº	cUPFi	cC
1	-1,0000	-2	6	0,1785	-2	11	1,0000	-2
2	-1,0000	-1	7	0,1785	-1	12	1,0000	-1
3	-1,0000	0	8	0,1785	0	13	1,0000	0
4	-1,0000	1	9	0,1785	1	14	1,0000	1
5	-1,0000	2	10	0,1785	2	15	1,0000	2

Tabla 6.12. Variables codificadas Modal

### 6.3.1.2.2.3. Modal Sun

Para la pseudocodificación de las variables que intervienen en el modelo para los tejidos de Modal Sun, se han utilizado las siguientes fórmulas de codificación:

$$cUPFims = \frac{UPFims - 20,0975}{7,4385} \quad cCms = \frac{Cms - 2}{1}$$

Aplicando las fórmulas de codificación anteriores se obtienen los niveles codificados de las variables para los tejidos de Modal Sun que se exponen en la tabla siguiente:

Muestra nº	cUPFi	cC	Muestra nº	cUPFi	cC	Muestra nº	cUPFi	cC
1	-1,0000	-2	6	-0,3347	-2	11	1,0000	-2
2	-1,0000	-1	7	-0,3347	-1	12	1,0000	-1
3	-1,0000	0	8	-0,3347	0	13	1,0000	0
4	-1,0000	1	9	-0,3347	1	14	1,0000	1
5	-1,0000	2	10	-0,3347	2	15	1,0000	2

Tabla 6.13. Variables codificadas Modal Sun

### 6.3.1.2.3. Modelo inicial

Debido a la naturaleza del diseño y a que, además, los niveles de las variables no son equidistantes, el análisis estadístico de los resultados para la modelización de la respuesta UPF se debe realizar por modelo lineal.

El modelo inicial comprende los términos correspondientes a los efectos simples UPFi y C, así como su interacción y sus términos cuadráticos, y la interacción de los términos cuadráticos con los efectos simples. El modelo inicial, según esta estructura, es el siguiente:

$$UPF = \beta_0 + \beta_1 \cdot cUPFi + \beta_2 \cdot cC + \beta_3 \cdot cUPFi \cdot cC + \beta_4 \cdot cUPFi^2 + \beta_5 \cdot cC^2 + \beta_6 \cdot cUPFi^2 \cdot cC + \beta_7 \cdot cUPFi \cdot cC^2$$

Con este análisis se obtienen los coeficientes  $\beta_i$  significativos del modelo en función de UPFi y C.



### 6.3.1.2.4. Procedimiento de análisis para la estimación del modelo significativo y coeficiente de determinación del ajuste

La estimación de los coeficientes significativos de los modelos que relacionan el UPF con las diferentes variables de las series de tejidos fabricados con las distintas fibras se realiza mediante el método denominado regresión paso a paso, según el procedimiento descrito es el capítulo 2 de esta tesis.

### 6.3.1.2.5. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Algodón acabados

#### 6.3.1.2.5.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los términos que resultan significativos y sus coeficientes, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón tratados con el producto de acabado. También se expone en la última columna el nivel de significación de cada término en el modelo.

Model fitting results for: UPFa

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	111.601151	6.370227	17.5192	0.0000
cUPFia	118.444456	4.835065	24.4970	0.0000
cCa	30.608953	3.929779	7.7890	0.0001
cUPFia*cCa	38.3782	2.227614	17.2284	0.0000
cUPFia^2	26.188795	6.681021	3.9199	0.0057
cCa^2	-10.918623	1.556716	-7.0139	0.0002
cUPFia*cCa^2	-9.692778	1.833939	-5.2852	0.0011
cCa*cUPFia^2	12.266247	4.724195	2.5965	0.0356

Ninguno de los efectos e interacciones tiene un nivel de significación superior a 0,05 por lo que ningún término debe eliminarse del modelo y los coeficientes estimados son, en principio, correctos.

El ANOVA de la regresión proporciona el valor del coeficiente de determinación del modelo, que ha resultado muy elevado (99,63%).

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	186676.	7	26668.0	268.708	.0000
Error	694.717	7	99.2453		
Total (Corr.)	187371.	14			

R-squared = 0.996292      Stnd. error of est. = 9.96219

Los gráficos de residuos de la respuesta y el gráfico probabilístico normal obtenidos para el modelo estimado, se presentan en la Figura 6.9.



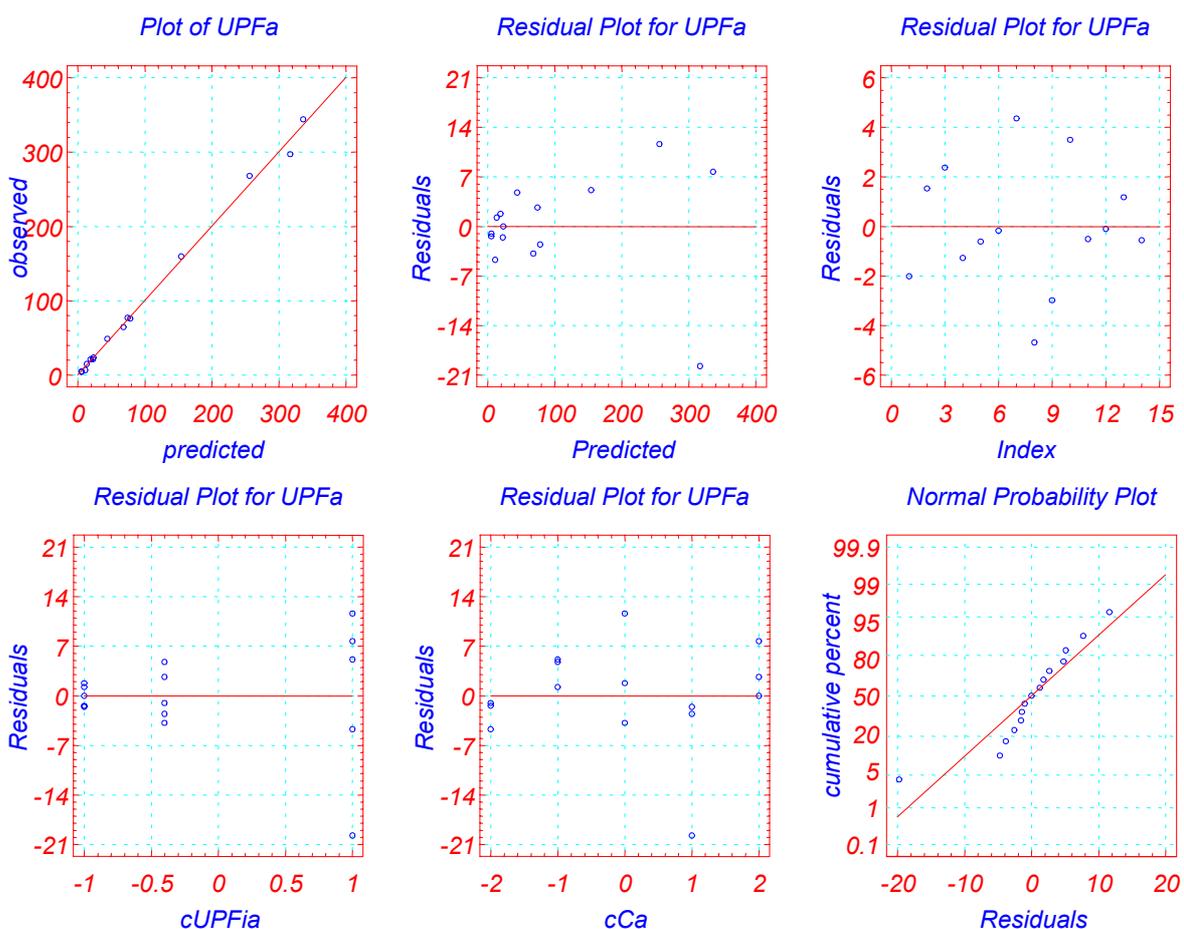


Figura 6.9. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Algodón

A partir del análisis de los gráficos de residuos, se comprueba el intervalo de probabilidad de los valores individuales del punto 14, ya que parece que pueda tratarse de un punto anómalo o “punto loco”.

Muestra nº	Valor experimental	Intervalo de probabilidad de valores individuales (95%)	
		Inferior	Superior
14	297,127	302,594	331,159

Tabla 6.14. Estudio de posibles puntos anómalos

El valor del UPF obtenido para este punto no se encuentra entre el intervalo de probabilidad para el 95%. Se trata de un punto anómalo que debe eliminarse del análisis.

Se recalcula de nuevo el modelo, obteniéndose los nuevos términos que resultan significativos y sus coeficientes el nivel de significación de cada término en el modelo y el nuevo ANOVA de la regresión.





### 6.3.1.2.5.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la concentración del producto de acabado, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned} UPFa = & 114,304355 + 123,965809 \cdot cUPFia + 31,056500 \cdot cCa + \\ & + 39,939142 \cdot cUPFia \cdot cCa + 28,415587 \cdot cUPFia^2 - 11,822679 \cdot cCa^2 - \quad R^2 = 99,95\% \\ & - 10,892512 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + 13,379643 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa \end{aligned}$$

La discusión de los resultados se referirá siempre al modelo en variables codificadas, ya que se utilizan niveles similares de las diferentes variables y, además, el peso de esos niveles es el mismo en efectos e interacciones. Ello facilita la observación del efecto de cada variable en el valor de la respuesta y la comparación entre los efectos e interacciones para determinar cual tiene una mayor influencia en la misma.

En el modelo han resultado significativos los efectos simples  $cUPFia$  e  $cCa$  y la interacción de los mismos  $cUPFia \cdot cCa$ , con signo positivo todos ellos. Con ello, se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

Asimismo han resultado significativo el término cuadrático  $cUPFia^2$  con coeficiente de signo positivo que producirá una aceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable. Este efecto del término cuadrático se verá acelerado al aumentar los valores de la variable  $cCa$  debido a que también ha resultado significativo el término  $cUPFia^2 \cdot cCa$ , con un coeficiente también positivo.

En cambio, se producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta al aumentar el valor de la variable  $cCa$ , debido al coeficiente significativo de signo negativo del término cuadrático  $cCa^2$ . La deceleración se irá haciendo mayor al aumentar los valores de la variable  $cUPFia$  debido a que también ha resultado significativo el término  $cUPFia \cdot cCa^2$ , con un coeficiente también negativo.

Al descodificar, se obtiene el modelo siguiente en variables originales:

$$\begin{aligned} UPFa = & 31,420599 - 10,424590 \cdot UPFia - 37,488589 \cdot Ca - 21,869050 \cdot UPFia \cdot Ca + \\ & + 1,022878 \cdot UPFia^2 + 33,497875 \cdot Ca^2 - 8,559931 \cdot UPFia \cdot Ca^2 + 8,262832 \cdot UPFia^2 \cdot Ca \end{aligned}$$

### 6.3.1.2.5.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 6.11 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema,  $cUPFia$  y  $cCa$ , obtenidas según el modelo estimado. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF en el intervalo entre 0 y 50, y



para incrementos de 25 puntos a partir de 50. Los colores distinguen entre las zonas que no presentan protección, las de buena protección, las de muy buena protección en color amarillo y las de protección excelente en color verde.

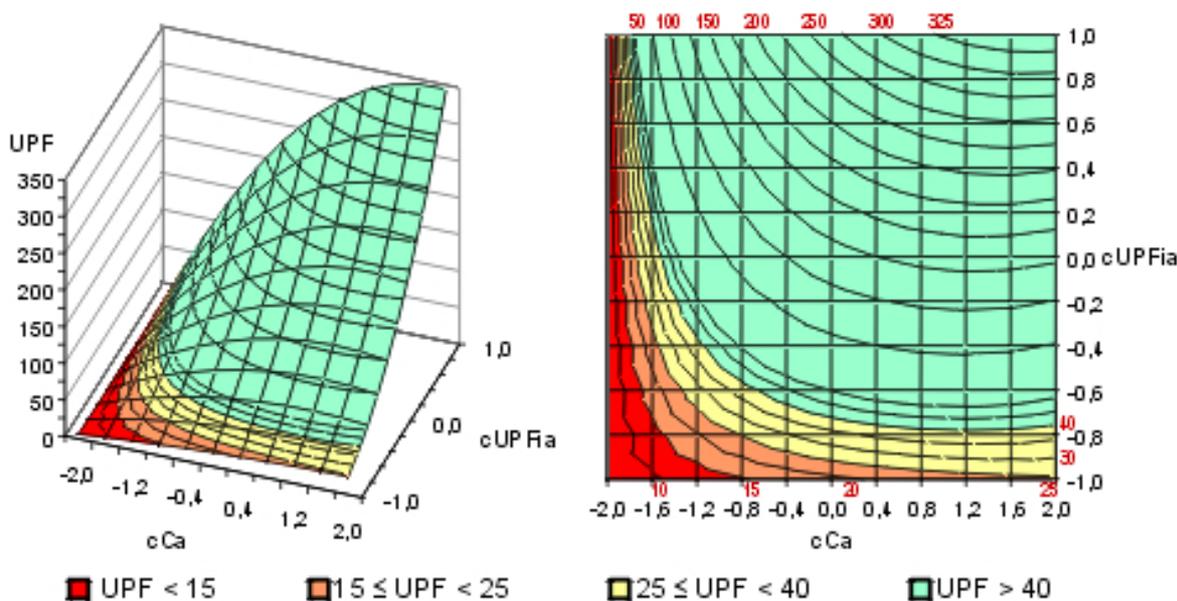


Figura 6.11. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Algodón

La figura nos muestra que ambas variables  $cUPF_{i_a}$  y  $cC_a$  presentan una gran influencia sobre el valor de la respuesta UPF del tejido. La tendencia de las curvas permite deducir que existe una contribución muy importante en el incremento del UPF debido al efecto de la interacción de ambas variables. Para tejidos con UPF inicial bajo (estructura más abierta) la concentración del producto de acabado produce muy pequeños incrementos en el UPF final, mientras que a medida que el UPF inicial de los tejidos aumenta (tejidos más compactos) también se va haciendo más notable el efecto de la concentración y pequeños incrementos en ésta producen muy notables mejoras en la protección que los tejidos proporcionan contra la radiación ultravioleta. De igual forma, para concentraciones bajas del producto de acabado, un aumento en el UPF inicial del tejido no proporcionará un elevado incremento del UPF del mismo, mientras que cuando la concentración es alta, un pequeño aumento en la compacidad del tejido producirá un gran incremento en el UPF del tejido. Así pues, será necesaria una mínima concentración de producto de acabado pero aplicada también sobre un tejido con una mínima compacidad, para poder obtener un nivel de protección determinado.

Las líneas de las superficies de respuesta en la dirección del eje de la variable  $cUPF_{i_a}$  presentan una tendencia ligeramente exponencial, con una curvatura poco notable, representativa de la contribución del término cuadrático en el modelo. Esta influencia, aunque positiva y significativa, no es muy apreciable en la práctica. Más apreciable es la contribución del término cuadrático negativo de la variable  $cC_a$ , que hace que las líneas de las superficies de respuesta en la dirección del eje de esta variable presenten una





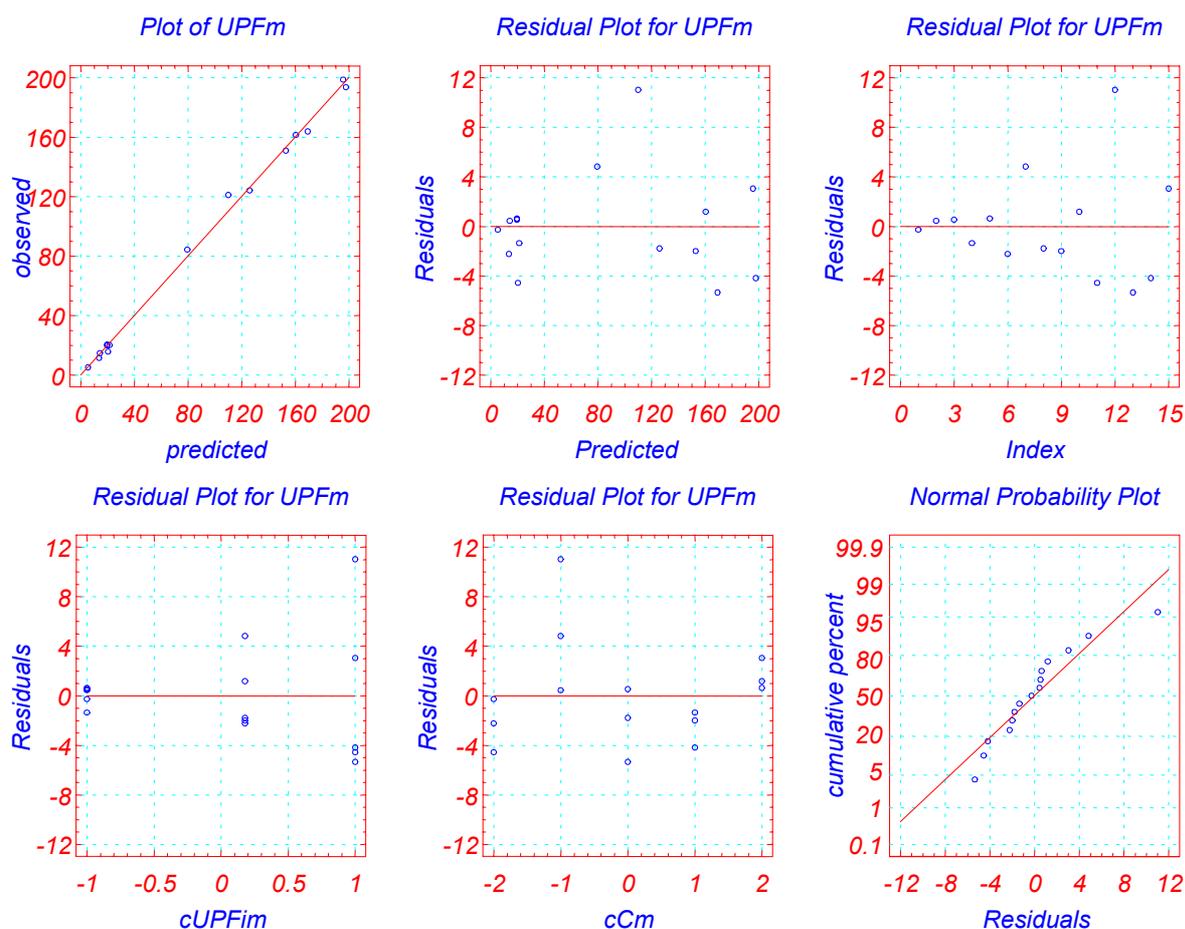


Figura 6.12. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal

A partir del análisis de los gráficos de residuos, se comprueba el intervalo de probabilidad de los valores individuales del punto 12, ya que parece que pueda tratarse de un punto anómalo o “punto loco”.

Muestra nº	Valor experimental	Intervalo de probabilidad de valores individuales (95%)	
		Inferior	Superior
12	121,083	101,857	118,263

Tabla 6.15. Estudio de posibles puntos anómalos

El valor del UPF obtenido para este punto no se encuentra entre el intervalo de probabilidad para el 95%. Se trata de un punto anómalo que debe eliminarse del análisis.

Se recalcula de nuevo el modelo, obteniéndose los nuevos términos que resultan significativos y sus coeficientes, así como el nivel de significación de cada término en el modelo.



Model fitting results for: UPFm

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	112.839488	1.594741	70.7572	0.0000
cUPFim	71.961406	1.519044	47.3728	0.0000
cCm	33.211722	0.938918	35.3723	0.0000
cUPFim*cCm	20.992125	0.661242	31.7465	0.0000
cUPFim^2	-20.906104	1.676781	-12.4680	0.0000
cCm^2	-8.163967	0.447485	-18.2441	0.0000
cUPFim*cCm^2	-6.199778	0.548361	-11.3060	0.0000
cCm*cUPFim^2	-8.663297	1.16584	-7.4309	0.0003

Analysis of Variance for the Full Regression

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F-Ratio	P-value
Model	76769.7	7	10967.1	1351.35	.0000
Error	48.6938	6	8.11564		

Total (Corr.) 76818.3 13  
R-squared = 0.999366 Std. error of est. = 2.8488

La R<sup>2</sup> ha variado ligeramente, obteniéndose un valor algo más elevado (99,94%).

En los gráficos de residuos y el gráfico probabilístico normal, Figura 6.13, no se observa ninguna anomalía, por lo que se considera que el modelo obtenido es correcto.

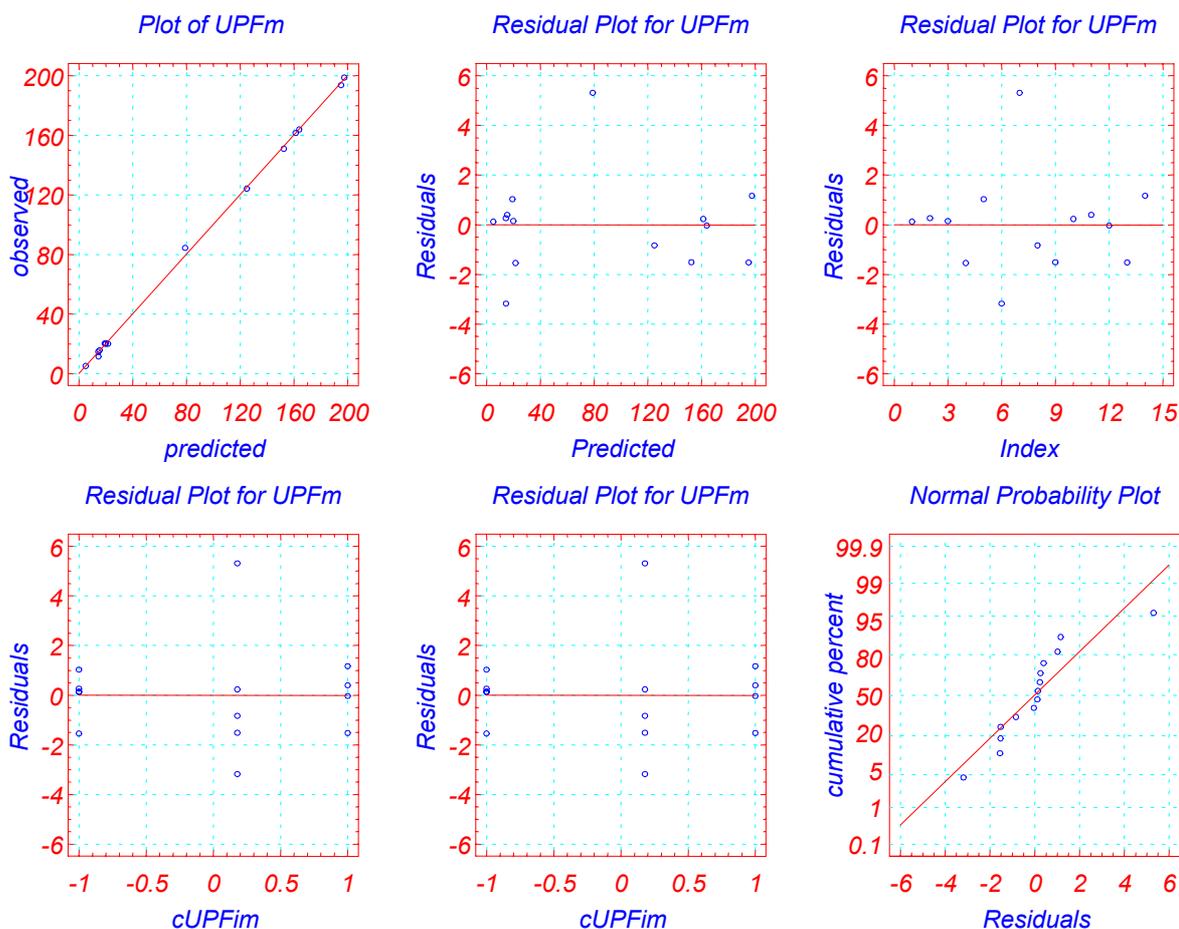


Figura 6.13. Gráficos de residuos y probabilístico normal de la respuesta UPF, tejidos de Modal



### 6.3.1.2.6.2. Modelo definitivo

El modelo definitivo que estima el valor de la respuesta UPF en función del UPF inicial del tejido y de la concentración del producto de acabado, es el siguiente en variables codificadas:

$$\begin{aligned} UPF_m = & 112,839488 + 71,961406 \cdot cUPF_{im} + 33,211722 \cdot cC_m + \\ & + 20,99125 \cdot cUPF_{im} \cdot cC_m - 20,906104 \cdot cUPF_{im}^2 - 8,163967 \cdot cC_m^2 - \quad R^2 = 99,94\% \\ & - 6,199778 \cdot cUPF_{im} \cdot cC_m^2 - 8,663297 \cdot cUPF_{im}^2 \cdot cC_m \end{aligned}$$

En el modelo han resultado significativos los efectos simples  $cUPF_{im}$  e  $cC_m$  y la interacción de los mismos  $cUPF_{im} \cdot cC_m$ , con signo positivo todos ellos. Con ello, se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

Asimismo han resultado significativos los términos cuadráticos  $cUPF_{im}^2$  y  $cC_m^2$  con coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable correspondiente. La deceleración se verá favorecida al aumentar los valores de la variable  $cC_m$  debido a que ha resultado significativo el término  $cUPF_{im}^2 \cdot cC_m$  y al aumentar los valores de la variable  $cUPF_{im}$  debido a que también ha resultado significativo el término  $cUPF_{im} \cdot cC_m^2$ , con coeficientes de signo negativo.

Al descodificar, se obtiene el modelo siguiente en variables originales:

$$\begin{aligned} UPF_m = & -10,210987 + 3,617871 \cdot UPF_{im} - 57,459461 \cdot C_m + 15,011377 \cdot UPF_{im} \cdot C_m - \\ & - 0,126616 \cdot UPF_{im}^2 + 4,010545 \cdot C_m^2 - 1,166029 \cdot UPF_{im} \cdot C_m^2 - 0,306443 \cdot UPF_{im}^2 \cdot C_m \end{aligned}$$

### 6.3.1.2.6.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 6.14 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema,  $cUPF_{im}$  y  $cC_m$ , obtenidas según el modelo estimado. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF en el intervalo entre 0 y 50 y para incrementos de 10 puntos a partir de 50.

Las superficies de respuesta y curvas de nivel obtenidas según el modelo estimado para los tejidos de Modal son muy similares a las obtenidas para los tejidos de Algodón, aunque en este caso los valores son algo más bajos.

De igual forma que para los tejidos de Algodón, también para los tejidos de Modal se puede observar que las dos variables  $cUPF_{im}$  y  $cC_m$  presentan una gran influencia sobre el valor de la respuesta UPF del tejido, acelerado por la interacción simple de ambas variables.



Las líneas de las superficies de respuesta en la dirección del eje de la variable  $cUPFi_m$  y del eje de la variable  $cC_m$  presentan una tendencia parabólica, contribución en el modelo de los términos cuadráticos de signo negativo, con una curvatura poco notable en el caso de  $cUPFi_m$  y algo más perceptible en el caso de  $cC_m$ , sobretudo a medida que aumenta el valor de las variables.

También en este caso, la representación de las superficies de respuesta y curvas de nivel nos permite estimar que con la aplicación del producto de acabado se podrán obtener tejidos con todos los niveles de protección y con un nivel de compacidad que los hará adecuados para su uso como prendas de verano, aunque será necesaria la correcta elección de los niveles de las variables.

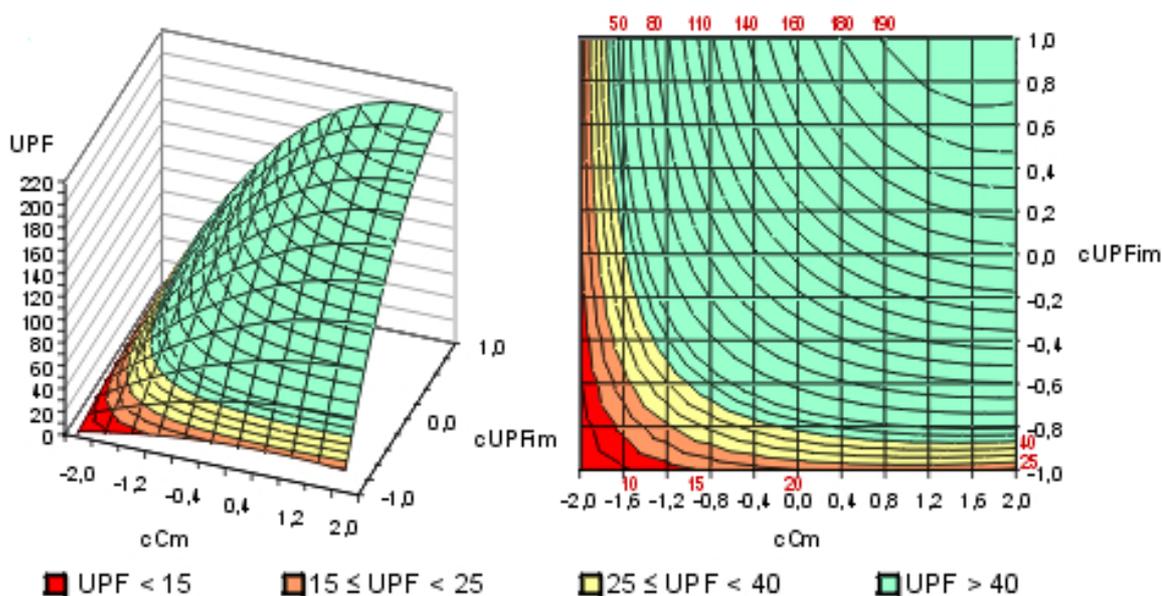


Figura 6.14. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal

### 6.3.1.2.7. Modelización de la respuesta UPF en los tejidos de Modal Sun acabados

#### 6.3.1.2.7.1. Estimación de los coeficientes del modelo, significación del modelo y gráficos de residuos de la respuesta y probabilístico normal

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos, una vez realizada la regresión paso a paso en el análisis estadístico de los datos obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun tratados con el producto de acabado.

Model fitting results for: UPFms

Independent variable	coefficient	std. error	t-value	sig.level
CONSTANT	82.988083	4.686524	17.7078	0.0000
$cUPFims$	50.615249	3.774944	13.4082	0.0000
$cCms$	11.097007	1.426246	7.7806	0.0001
$cUPFims * cCms$	7.967728	1.699836	4.6874	0.0016
$cUPFims^2$	-17.770945	4.864003	-3.6536	0.0065
$cCms^2$	-6.402369	1.205398	-5.3114	0.0007
$cUPFims * cCms^2$	-6.202025	1.436624	-4.3171	0.0026





$$\begin{aligned}
 UPF_{ms} = & 82,988083 + 50,615249 \cdot cUPF_{ims} + 11,097007 \cdot cC_{ms} + \\
 & + 7,967728 \cdot cUPF_{ims} \cdot cC_{ms} - 17,770945 \cdot cUPF_{ims}^2 - \\
 & - 6,402369 \cdot cC_{ms}^2 - 6,202025 \cdot cUPF_{ims} \cdot cC_{ms}^2
 \end{aligned}
 \quad R^2 = 97,82\%$$

En el modelo han resultado significativos los efectos simples  $cUPF_{ims}$  e  $cC_{ms}$  y la interacción de los mismos  $cUPF_{ims} \cdot cC_{ms}$ , con signo positivo todos ellos. Con ello, se puede afirmar que el UPF de los tejidos aumenta al aumentar cualquiera de los efectos y que el incremento producido se ve acelerado por la interacción de las dos variables.

Asimismo han resultado significativo el término cuadrático  $cUPF_{ims}^2$  con coeficiente de signo negativo que producirá una deceleración en el aumento del valor de la respuesta más acusada a medida que aumenta el valor de la variable  $cUPF_{ims}$ . El mismo efecto se producirá al aumentar el valor de la variable  $cC_{ms}$ , debido al coeficiente significativo de signo negativo del término cuadrático  $cC_{ms}^2$ . La deceleración producida por este término se irá haciendo mayor al aumentar los valores de la variable  $cUPF_{ims}$  debido a que también ha resultado significativo el término  $cUPF_{ims} \cdot cC_{ms}^2$ , con un coeficiente también negativo.

Al descodificar, se obtiene el modelo siguiente en variables originales:

$$\begin{aligned}
 UPF_{ms} = & -121,212015 + 14,236679 \cdot UPF_{ims} - 51,847957 \cdot C_{ms} + 4,406242 \cdot UPF_{ims} \cdot C_{ms} - \\
 & - 0,321174 \cdot UPF_{ims}^2 + 10,354396 \cdot C_{ms}^2 - 0,833774 \cdot UPF_{ims} \cdot C_{ms}^2
 \end{aligned}$$

### 6.3.1.2.7.3. Superficies de respuesta y curvas de nivel

En la Figura 6.16 se han representado las superficies de respuesta y las curvas de nivel de la respuesta UPF en función de las dos variables codificadas del sistema,  $cUPF_{ims}$  y  $cC_{ms}$ , obtenidas según el modelo estimado. Se representan las curvas de superficie y nivel para incrementos de 5 puntos del valor de la respuesta UPF.

En el caso de la serie de tejidos de Modal Sun, las superficies de respuesta y curvas de nivel obtenidas según el modelo estimado nos muestran que ambas variables tienen incidencia sobre el valor de la respuesta. En esta serie de tejidos se observa que la variable  $cUPF_{ims}$  tiene un mayor peso sobre el valor de la respuesta, mientras que la variable  $cC_{ms}$  lo tiene menor, como indica la tendencia de las curvas a seguir una línea más horizontal. Si se mantiene fijo un valor de la variable  $cUPF_{ims}$  y desplazándose siguiendo un sentido horizontal se ve que se produce menos variación en el nivel de protección obtenido, que si se mantiene fijo un valor de la variable  $cC_{ms}$  y el desplazamiento es en sentido vertical.

Las líneas de las superficies de respuesta en la dirección del eje de la variable  $cUPF_{ims}$  y del eje de la variable  $cC_{ms}$  presentan una tendencia parabólica, contribución en el modelo de los términos cuadráticos de signo negativo, con una curvatura poco notable en el caso



de  $cUPFi_{ms}$  y algo más perceptible en el caso de  $cC_{ms}$ , sobretodo a medida que aumenta el valor de las variables.

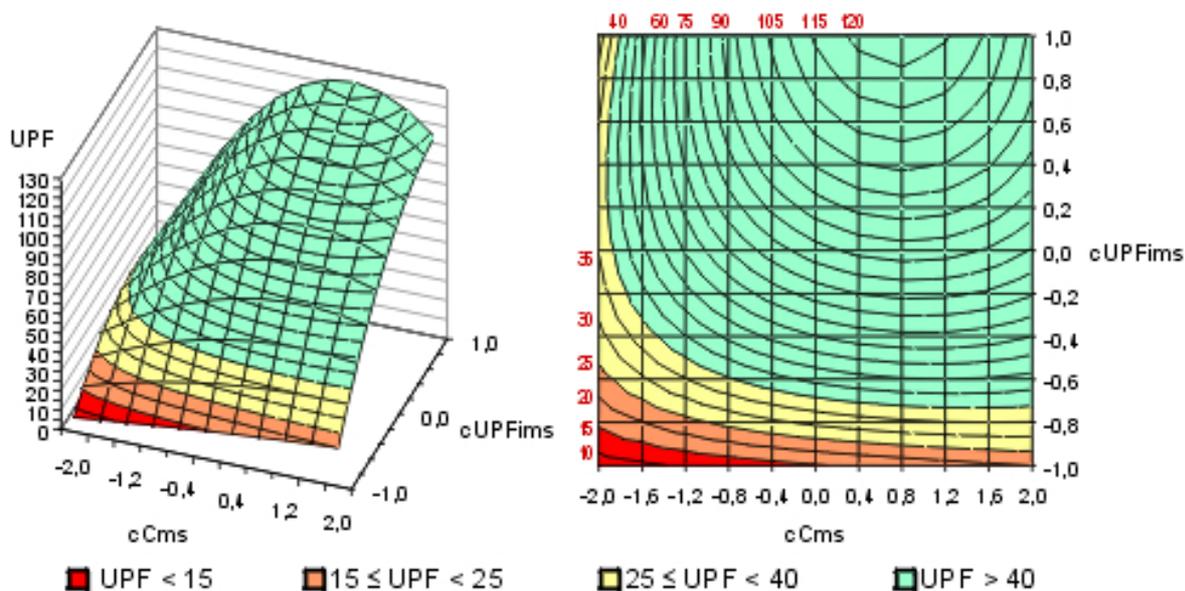


Figura 6.16. Superficies de respuesta y curvas de nivel, tejidos de Modal Sun

### 6.3.1.2.8. Comparación de los resultados obtenidos para las diferentes fibras

Como resumen de los resultados obtenidos y para comparar el efecto del tipo de fibra y el producto de acabado sobre la protección contra la radiación ultravioleta proporcionada por los tejidos, en este apartado se resumen los modelos que describen el valor del UPF de los tejidos en función de la concentración del producto de acabado y el UPF inicial, obtenidos para los tejidos fabricados con las fibras de Algodón, Modal y Modal Sun.

Algodón:  $R^2 = 99,95\%$

$$UPFa = 114,304355 + 123,965809 \cdot cUPFia + 31,056500 \cdot cCa + 39,939142 \cdot cUPFia \cdot cCa + 28,415587 \cdot cUPFia^2 - 11,822679 \cdot cCa^2 - 10,892512 \cdot cUPFia \cdot cCa^2 + 13,379643 \cdot cUPFia^2 \cdot cCa$$

Modal:  $R^2 = 99,94\%$

$$UPFm = 112,839488 + 71,961406 \cdot cUPFim + 33,211722 \cdot cCm + 20,99125 \cdot cUPFim \cdot cCm - 20,906104 \cdot cUPFim^2 - 8,163967 \cdot cCm^2 - 6,199778 \cdot cUPFim \cdot cCm^2 - 8,663297 \cdot cUPFim^2 \cdot cCm$$

Modal Sun:  $R^2 = 97,82\%$

$$UPFms = 82,988083 + 50,615249 \cdot cUPFims + 11,097007 \cdot cCms + 7,967728 \cdot cUPFims \cdot cCms - 17,770945 \cdot cUPFims^2 - 6,402369 \cdot cCms^2 - 6,202025 \cdot cUPFims \cdot cCms^2$$

Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras, el tratamiento de los tejidos con el producto de acabado tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF. La influencia de la adición del producto es más notable en los tejidos de Algodón, y



algo menor en los tejidos de Modal. El tratamiento de acabado es menos efectivo cuando se aplica sobre los tejidos de Modal Sun.

En el tratamiento de los tejidos de Algodón con el producto de acabado, la variable que tiene más influencia para la mejora del UPF de los tejidos es el UPF inicial del mismo, es decir, la estructura del tejido original. Esta variable, en los términos en que no interviene la interacción con la otra variable, ha obtenido siempre coeficientes positivos y de valor más elevado.

También para los tejidos de Modal y Modal Sun, la variable UPF inicial de los tejidos presenta una gran influencia con coeficientes positivos mayores. Asimismo, los coeficientes negativos de esta variable son mayores, aunque de valor absoluto más pequeño que los coeficientes positivos.

En todos los casos, cabe destacar que la interacción de ambas variables tiene una contribución muy notable en el aumento del valor del UPF.

A modo de ejemplo en la Tabla 6.16, la Tabla 6.17 y la Tabla 6.18 se han representado valores de UPF, estimados según el modelo obtenido para cada una de las fibras. Por razones de extensión, se han escogido varios valores de las variables dentro del rango experimental, aunque las posibilidades de combinación son mucho más numerosas que las representadas. Se ha utilizado un código de colores, que se expone a continuación, para facilitar el encontrar las condiciones necesarias para obtener un mínimo de protección, o bien una buena protección o una protección excelente.

- UPF < 15: tejido no protector
- 15 ≤ UPF < 25: tejido que proporciona buena protección
- 25 ≤ UPF < 40: tejido que proporciona muy buena protección
- UPF ≥ 40: tejido que proporciona protección excelente

Tinofast CEL		UPF inicial										
		4,06	4,31	4,56	4,81	5,06	5,32	5,57	5,82	6,07	6,32	6,57
Concentración	0,0	6,0	5,5	5,2	4,9	4,9	4,9	5,1	5,4	5,8	6,4	7,1
	0,4	9,7	13,7	18,1	23,2	28,7	34,9	41,5	48,7	56,5	64,8	73,6
	0,8	13,1	20,7	29,4	38,9	49,5	61,0	73,5	86,9	101,3	116,6	132,9
	1,2	16,1	26,7	38,8	52,2	67,1	83,3	100,8	119,8	140,1	161,8	184,9
	1,6	18,6	31,7	46,5	63,1	81,5	101,7	123,7	147,5	173,1	200,5	229,7
	2,0	20,8	35,5	52,4	71,5	92,8	116,3	142,0	170,0	200,2	232,5	267,1
	2,4	22,5	38,2	56,5	77,4	100,9	127,1	155,9	187,3	221,3	258,0	297,3
	2,8	23,9	39,8	58,8	80,8	105,9	134,0	165,1	199,3	236,6	276,9	320,2
	3,2	24,9	40,4	59,4	81,8	107,7	137,1	169,9	206,2	245,9	289,1	335,8
	3,6	25,4	39,8	58,1	80,3	106,4	136,3	170,1	207,8	249,4	294,8	344,1
4,0	25,6	38,2	55,1	76,4	101,9	131,7	165,8	204,2	246,9	293,9	345,2	

Tabla 6.16. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Algodón acabados



Tinofast CEL		UPF inicial										
		5,12	6,18	7,25	8,31	9,38	10,44	11,50	12,57	13,63	14,70	15,76
Concentración	0,0	5,0	7,3	9,4	11,1	12,6	13,8	14,7	15,3	15,6	15,6	15,4
	0,4	9,2	16,3	22,7	28,7	34,0	38,8	43,0	46,7	49,8	52,3	54,3
	0,8	12,8	24,2	34,7	44,4	53,2	61,2	68,4	74,7	80,2	84,8	88,6
	1,2	15,8	31,1	45,3	58,3	70,2	81,0	90,7	99,3	106,7	113,1	118,3
	1,6	18,2	37,0	54,4	70,4	85,0	98,2	110,1	120,5	129,5	137,2	143,4
	2,0	19,9	41,8	62,1	80,7	97,6	112,8	126,4	138,3	148,5	157,0	163,9
	2,4	21,0	45,7	68,4	89,1	107,9	124,8	139,7	152,7	163,7	172,7	179,8
	2,8	21,5	48,5	73,2	95,8	116,1	134,2	150,0	163,6	175,0	184,2	191,1
	3,2	21,3	50,2	76,7	100,6	122,0	140,9	157,3	171,2	182,6	191,5	197,9
	3,6	20,5	51,0	78,7	103,6	125,7	145,1	161,6	175,4	186,4	194,6	200,0
	4,0	19,1	50,7	79,3	104,8	127,2	146,6	162,9	176,2	186,3	193,5	197,5

Tabla 6.17. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal acabados

Tinofast CEL		UPF inicial										
		12,66	14,15	15,64	17,12	18,61	20,10	21,59	23,08	24,56	26,05	27,54
Concentración	0,0	7,5	15,9	22,9	28,4	32,5	35,2	36,4	36,3	34,7	31,7	27,3
	0,4	9,1	19,9	29,3	37,2	43,7	48,9	52,5	54,8	55,6	55,1	53,1
	0,8	10,6	23,4	34,8	44,8	53,3	60,5	66,2	70,5	73,3	74,8	74,8
	1,2	12,0	26,4	39,5	51,1	61,3	70,0	77,4	83,3	87,8	90,9	92,5
	1,6	13,3	29,0	43,3	56,1	67,5	77,5	86,1	93,3	99,0	103,3	106,2
	2,0	14,6	31,1	46,2	59,9	72,2	83,0	92,4	100,4	107,0	112,1	115,8
	2,4	15,8	32,8	48,3	62,5	75,1	86,4	96,3	104,7	111,7	117,3	121,5
	2,8	17,0	34,0	49,6	63,7	76,5	87,8	97,7	106,1	113,2	118,8	123,0
	3,2	18,1	34,7	50,0	63,8	76,1	87,1	96,6	104,8	111,4	116,7	120,6
	3,6	19,1	35,0	49,5	62,5	74,2	84,4	93,2	100,5	106,5	111,0	114,1
	4,0	20,1	34,8	48,1	60,0	70,5	79,6	87,2	93,4	98,2	101,6	103,5

Tabla 6.18. Estimación del UPF según el modelo para los tejidos de Modal Sun acabados

### 6.3.2. Microscopía SEM

Se ha utilizado la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para tratar de determinar por un método visual si el producto de acabado ha causado alguna modificación importante de la superficie de la fibra. Al mismo tiempo, mediante esta técnica se podría apreciar si el producto se ha fijado a la fibra mediante deposición, formando una capa sobre la superficie de la misma. Se han observado muestras de tejido de Algodón no tratado y del tratado con un 4% s.p.f. del producto de acabado. También se han extraído algunos hilos de ambos tejidos y se han observado las fibras que forman parte de dichos hilos. Asimismo se han extraído fibras individuales para su observación.

La Figura 6.17 muestra las imágenes obtenidas con una magnificación x70, correspondientes a la superficie de las muestras de tejido de Algodón no tratado y tratado. La figura muestra que no se aprecia ninguna diferencia significativa en el aspecto microscópico de la superficie de los tejidos de Algodón al ser sometidas al tratamiento de acabado con el producto.



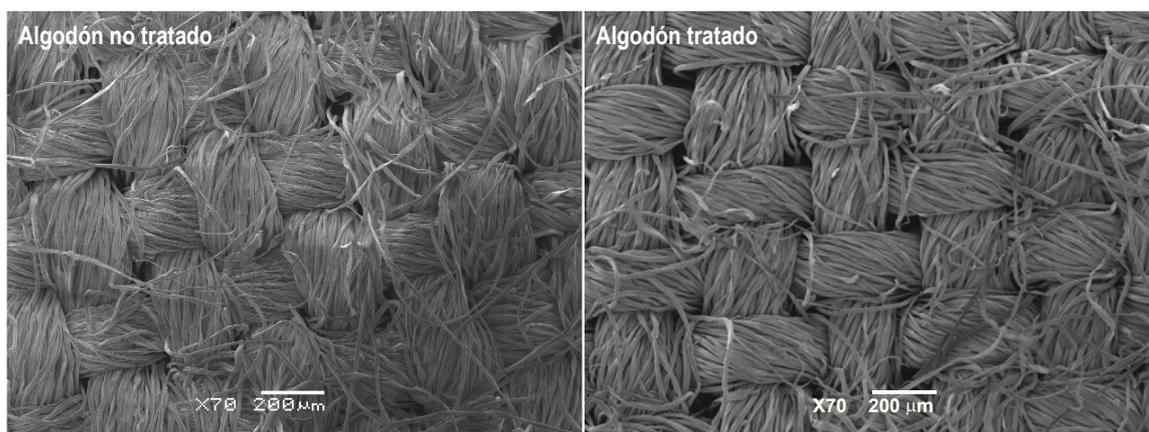


Figura 6.17. Imágenes SEM del tejido de Algodón no tratado y tratado (x70)

En la Figura 6.18 se muestra una selección de imágenes SEM obtenidas en la observación de las fibras en hilos e individuales correspondientes al Algodón no tratado, con magnificaciones x2000 y x 5000. Las imágenes correspondientes al Algodón tratado se muestran en la Figura 6.19.

En las figuras se puede apreciar el aspecto típico de las fibras de Algodón, con una forma de tubo aplastado y torcido, es decir, con las convoluciones usuales en el Algodón maduro. En las imágenes O7 y O8 se aprecia muy claramente la forma de una fibra colapsada de Algodón, que dará lugar a la clásica sección transversal de forma arriñonada. En ella se distingue perfectamente la parte interior, con las arrugas formadas debido al exceso de longitud de circunferencia que se produce tras el colapso de la fibra.

En algunas de las fotografías, tanto de las fibras no tratadas como tratadas (por ejemplo, en las imágenes O4 y A6), se pueden observar también las arrugas en la superficie que se deben al cambio de dirección en la disposición helicoidal de las microfibrillas alrededor del eje de la fibra, producido a intervalos irregulares a lo largo de su longitud.

En general, las fotografías muestran una superficie lisa de la fibra, sin apariencia fibrilar. Este aspecto casi liso, se debe a la capa exterior de la fibra de lana (cutícula y pared primaria), compuesta en la celulosa natural por una red de microfibrillas organizadas al azar dentro de una mezcla de ceras, pectinas, proteínas y otro material no celulósico (parte de él se elimina en las operaciones de preparación de la fibra). En la parte interior de la pared primaria se encuentra una fina capa que la separa de la pared secundaria, la parte más voluminosa de la fibra de Algodón. La cutícula, pared primaria y capa intermedia, protegen a la pared secundaria de la fibra. En algunas de las fotografías de las fibras correspondientes al tejido tratado con el producto de acabado (ver imágenes A1, A2, A3 y A4) se aprecia una discontinuidad de las capas externas de la fibra, de forma que el aspecto superficial ya no es liso, sino irregular con partes en las que parece que hay acumulación de material y otras que parecen dejar al descubierto la pared secundaria. Estos cambios en el aspecto liso superficial podrían atribuirse a depósitos



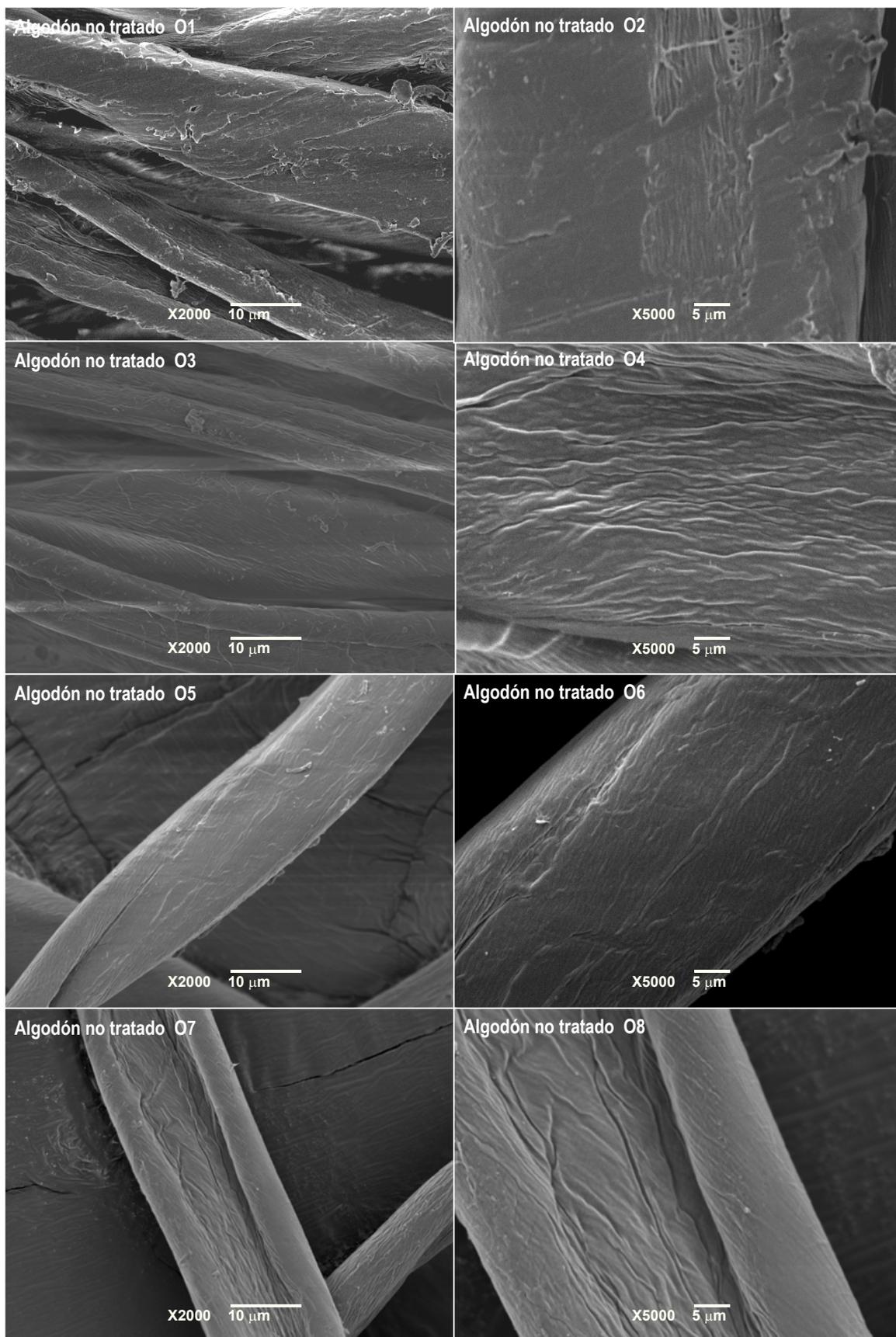


Figura 6.18. Imágenes SEM de fibras de Algodón no tratado (x2000 y x5000)



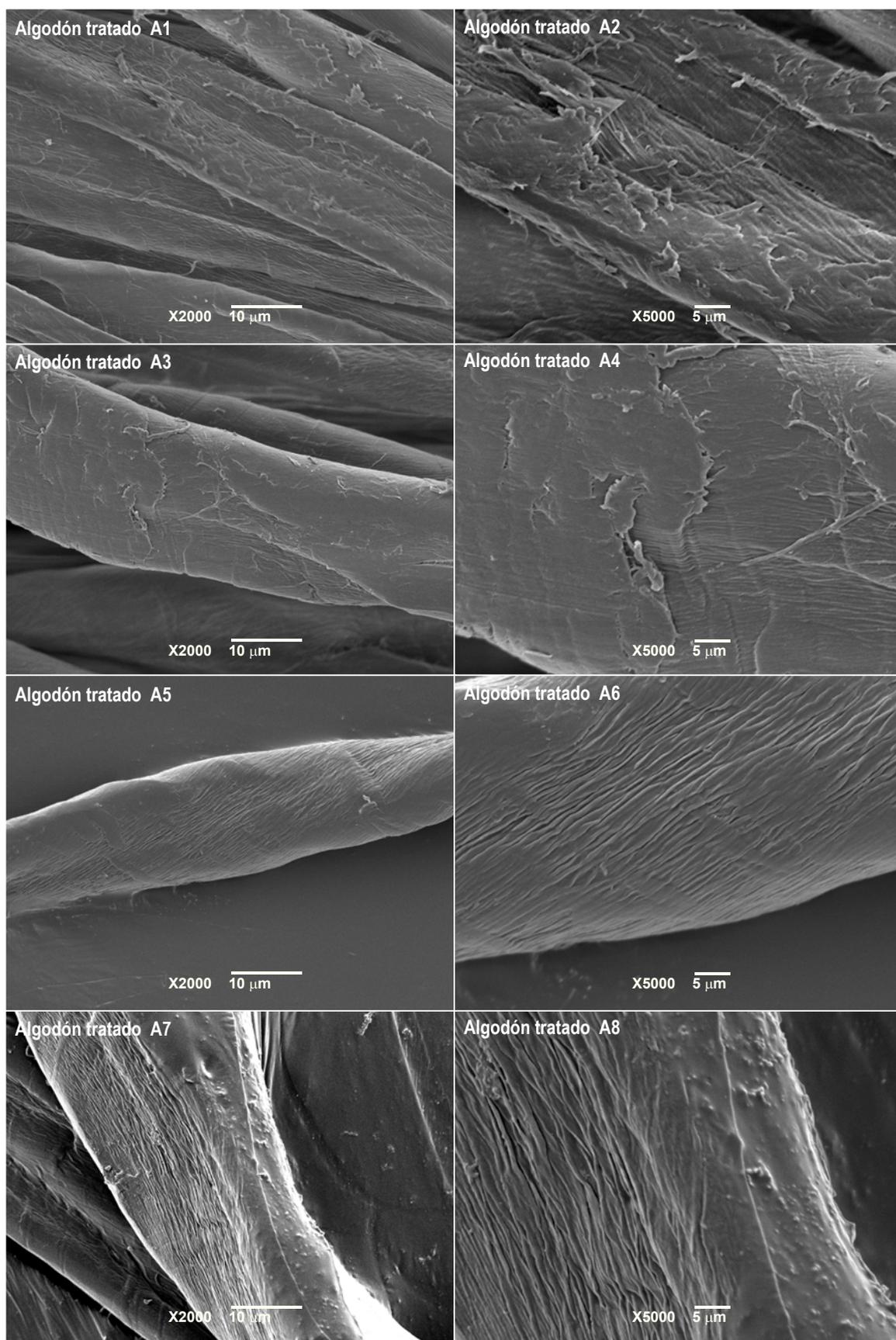


Figura 6.19. Imágenes SEM de fibras de Algodón tratado (x2000 y x5000)



superficiales del producto de acabado y a un ataque sobre la fibra producido por el producto de acabado, respectivamente. Sin embargo, también las fotografías correspondientes a las fibras no tratadas con el producto de acabado presentan estas discontinuidades (ver imagen O1 y O2), por lo que parecen causadas no por el tratamiento de acabado, sino por la irregularidad propia de una fibra natural o por el efecto de operaciones previas de preparación de la fibra.

Así pues, no se puede afirmar que existan diferencias significativas en el aspecto microscópico de la superficie de las fibras de Algodón al ser sometidas al tratamiento de acabado con el producto absorbente de radiación ultravioleta. Ello parece indicar que el producto de acabado no ha causado modificaciones importantes en la superficie de la fibra. También señalaría que el producto no se ha fijado a la fibra mediante deposición, formando una capa sobre la superficie de la misma.

### **6.3.3. Estudio de la permanencia del acabado**

#### **6.3.3.1. Permanencia del acabado tras lavados repetidos**

##### **6.3.3.1.1. Espectros de transmisión de radiación de los tejidos en la región del ultravioleta**

###### *6.3.3.1.1.1. Tejidos de Algodón*

La Figura 6.20 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón no tratados y tratados con las diferentes concentraciones del producto de acabado, después de ser sometidos a ensayos de lavados repetidos. Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.19.

En la figura se observa que, en general, se produce un ligero aumento de la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados con el producto de acabado en todas las longitudes de onda, cuando son sometidos al ensayo de lavados repetidos. En cambio, en el caso del tejido no tratado sólo se observa este aumento de la transmitancia en la zona de longitudes de onda del UVB, mientras que la transmisión disminuye o se mantiene casi igual en la zona del UVA.

La tabla de transmisiones medias corrobora los resultados observados en la Figura 6.20. Se produce, en general, un aumento muy ligero de la transmisión cuando los tejidos son sometidos a lavados repetidos. Sin embargo, este aumento es algo irregular y no se observa una correlación clara entre la transmitancia y el número de lavados efectuados. En algunos casos, incluso disminuye la transmisión de radiación ultravioleta al realizar los lavados, normalmente después del primero de ellos, probablemente debido a un encogimiento del tejido.



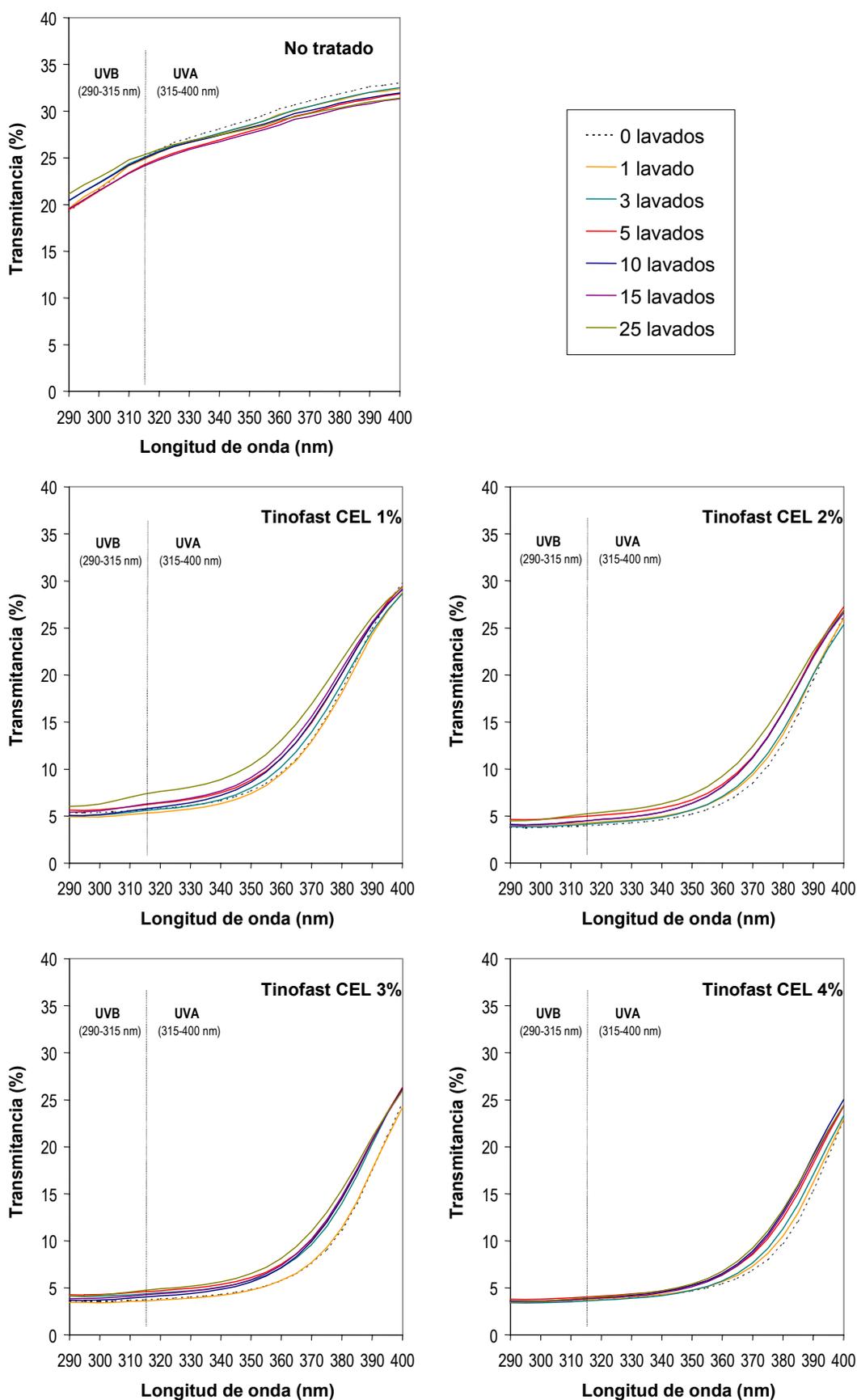


Figura 6.20. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón tras lavados repetidos



Muestra de tejido	Nº de lavados	T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
No tratado	0	29,76	22,01	27,97
	1	29,10	22,32	27,52
	3	29,17	22,80	27,69
	5	28,46	21,88	26,93
	10	28,83	22,74	27,41
	15	28,16	21,90	26,70
	25	28,68	23,33	27,43
Tinofast CEL 1%	0	13,13	5,63	11,49
	1	12,46	5,04	10,84
	3	12,99	5,24	11,29
	5	13,83	5,82	12,07
	10	13,65	5,32	11,82
	15	14,07	5,74	12,24
	25	15,14	6,57	13,24
Tinofast CEL 2%	0	9,67	4,01	8,44
	1	9,97	4,11	8,69
	3	9,97	3,94	8,65
	5	11,34	4,74	9,90
	10	11,03	4,21	9,54
	15	11,03	4,17	9,53
	25	11,88	4,77	10,31
Tinofast CEL 3%	0	8,98	3,87	7,87
	1	8,62	3,50	7,50
	3	10,16	4,19	8,85
	5	10,48	4,38	9,14
	10	10,16	3,79	8,77
	15	10,35	4,00	8,96
	25	10,90	4,37	9,46
Tinofast CEL 4%	0	8,07	3,71	7,12
	1	8,25	3,64	7,24
	3	8,46	3,47	7,37
	5	9,21	3,87	8,04
	10	9,44	3,69	8,18
	15	9,23	3,61	8,00
	25	9,52	3,67	8,23

Tabla 6.19. Transmisiones medias de los tejidos de Algodón tras lavados repetidos

### 6.3.3.1.1.2. Tejidos de Modal

La Figura 6.21 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no tratados y tratados con las diferentes concentraciones del producto de acabado, después de ser sometidos a ensayos de lavados repetidos.



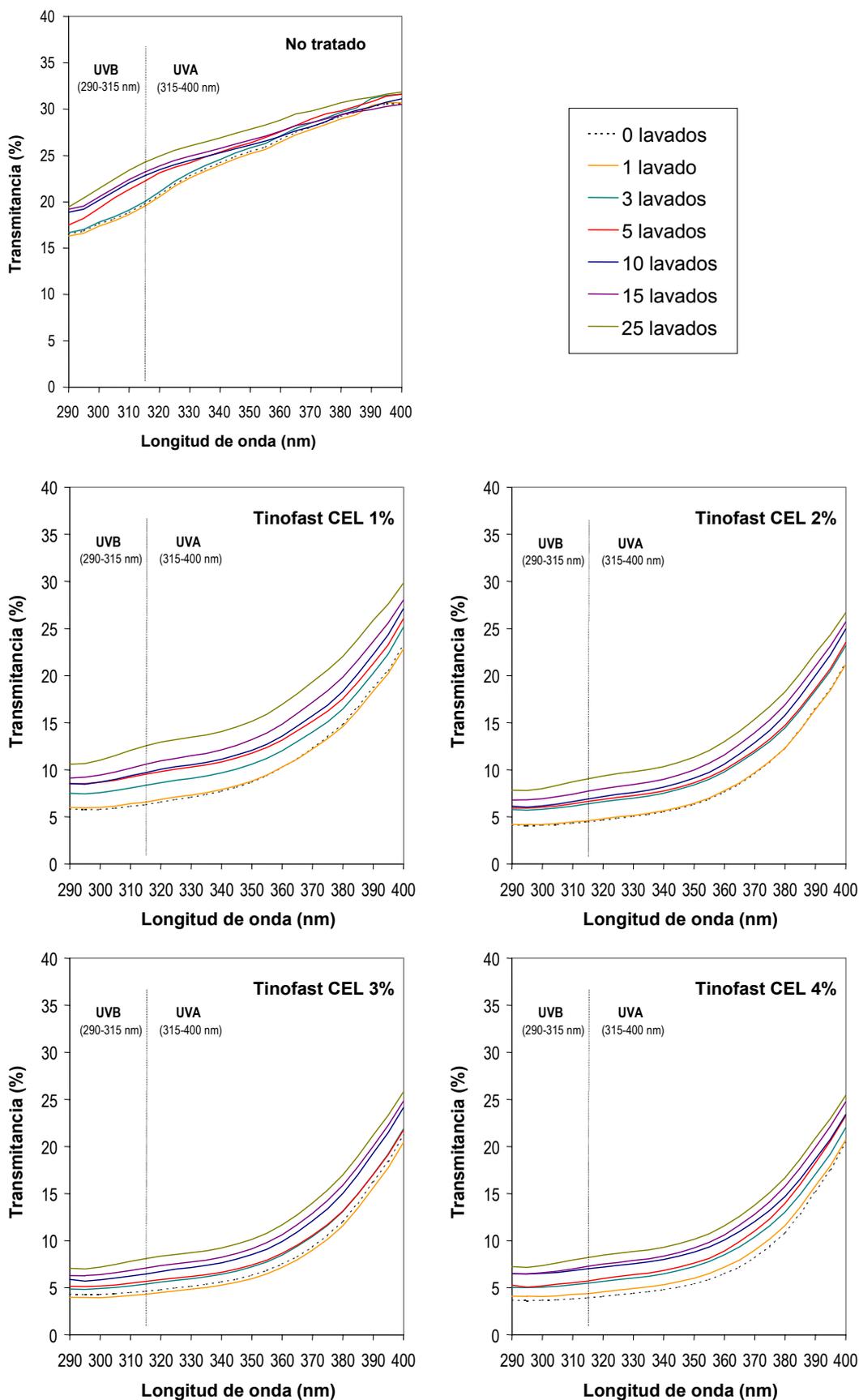


Figura 6.21. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal tras lavados repetidos



Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.20.

Muestra de tejido	Nº de lavados	T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
No tratado	0	26,12	17,95	24,27
	1	18,92	17,40	18,53
	3	19,73	17,94	19,28
	5	20,94	18,96	20,44
	10	22,04	19,77	21,47
	15	23,38	20,36	22,64
	25	26,18	22,40	25,26
Tinofast CEL 1%	0	11,75	6,00	10,48
	1	11,61	6,18	10,41
	3	13,46	7,78	12,20
	5	14,58	8,88	13,31
	10	15,09	8,96	13,73
	15	16,26	9,72	14,80
	25	18,30	11,40	16,75
Tinofast CEL 2%	0	9,38	4,23	8,25
	1	9,41	4,32	8,29
	3	11,38	5,96	10,19
	5	11,63	6,18	10,42
	10	12,35	6,36	11,03
	15	13,29	7,13	11,92
	25	14,62	8,28	13,21
Tinofast CEL 3%	0	9,07	4,18	8,00
	1	8,86	4,06	7,81
	3	10,16	5,03	9,03
	5	10,30	5,31	9,20
	10	11,72	6,01	10,46
	15	12,43	6,58	11,13
	25	13,46	7,43	12,12
Tinofast CEL 4%	0	8,74	4,03	7,71
	1	8,94	4,17	7,89
	3	10,19	5,17	9,09
	5	10,81	5,36	9,61
	10	11,75	6,65	10,62
	15	12,44	6,76	11,18
	25	13,36	7,58	12,08

Tabla 6.20. Transmisiones medias de los tejidos de Modal tras lavados repetidos

En el caso de los tejidos correspondientes a la serie de Modal, se aprecia más claramente el aumento de la transmisión de radiación ultravioleta a través del tejido no tratado y de los tejidos tratados con el producto de acabado, cuando éstos han sido



sometidos al ensayo de lavados repetidos. En algún caso se produce una disminución de la transmisión de radiación ultravioleta después del primer lavado, pero se observa que posteriormente la transmitancia va aumentando a medida que aumenta el número de lavados, sea cual sea la concentración del producto de acabado.

Los valores numéricos nos muestran que, al contrario de lo observado para los tejidos de Algodón, para los tejidos de Modal existe una correlación entre la transmisión de los tejidos y el número de lavados a que se les somete. La transmitancia aumenta a medida que aumenta el número de lavados. En casi todos los casos, los tejidos lavados una única vez, experimentan una ligera disminución de la transmisión, probablemente debida a un cierto encogimiento inicial.

#### 6.3.3.1.1.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 6.22 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun no tratados y tratados con las diferentes concentraciones del producto de acabado, después de ser sometidos al ensayo de lavados repetidos. Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.21.

En la figura se observa que los tejidos de Modal Sun sometidos al ensayo de lavados repetidos, presentan un comportamiento diferente al observado para los tejidos de Algodón y de Modal. En este caso, se produce una disminución de la transmitancia en todas las longitudes de onda después del primer lavado de las muestras, tanto del tejido no tratado como de los tratados. Aunque en los lavados posteriores la transmitancia de los tejidos va aumentando progresivamente, la disminución inicial es suficientemente importante como para que las transmitancias se mantengan por debajo de las del tejido no lavado. Sólo algunas muestras presentan un aumento de dicha transmisión en longitudes de onda cercanas al visible.

La disminución de la transmitancia durante el primer lavado puede ser debida a un encogimiento de la muestra al ser sometida al ensayo. Probablemente este encogimiento no será mayor que el que se produce en los tejidos de Algodón o Modal. Sin embargo, tal como se confirmó en el capítulo 2 (Estudio de la influencia de la estructura en el UPF de los tejidos), la transmisión de radiación ultravioleta es muy sensible a los cambios estructurales cuando se producen en tejidos fabricados con Modal Sun, mientras que lo es muy poco cuando los tejidos son de Algodón o Modal.

Los resultados presentados en la tabla confirman la disminución casi general de las transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun tratados con el producto de acabado una vez sometidos al ensayo de lavados repetidos. Los valores de transmitancia menores se obtienen para los tejidos lavados una sola vez, y van creciendo al aumentar el número de lavados, pero no lo suficientemente como para superar a los obtenidos para el tejido antes de ser lavado, salvo algunas excepciones.



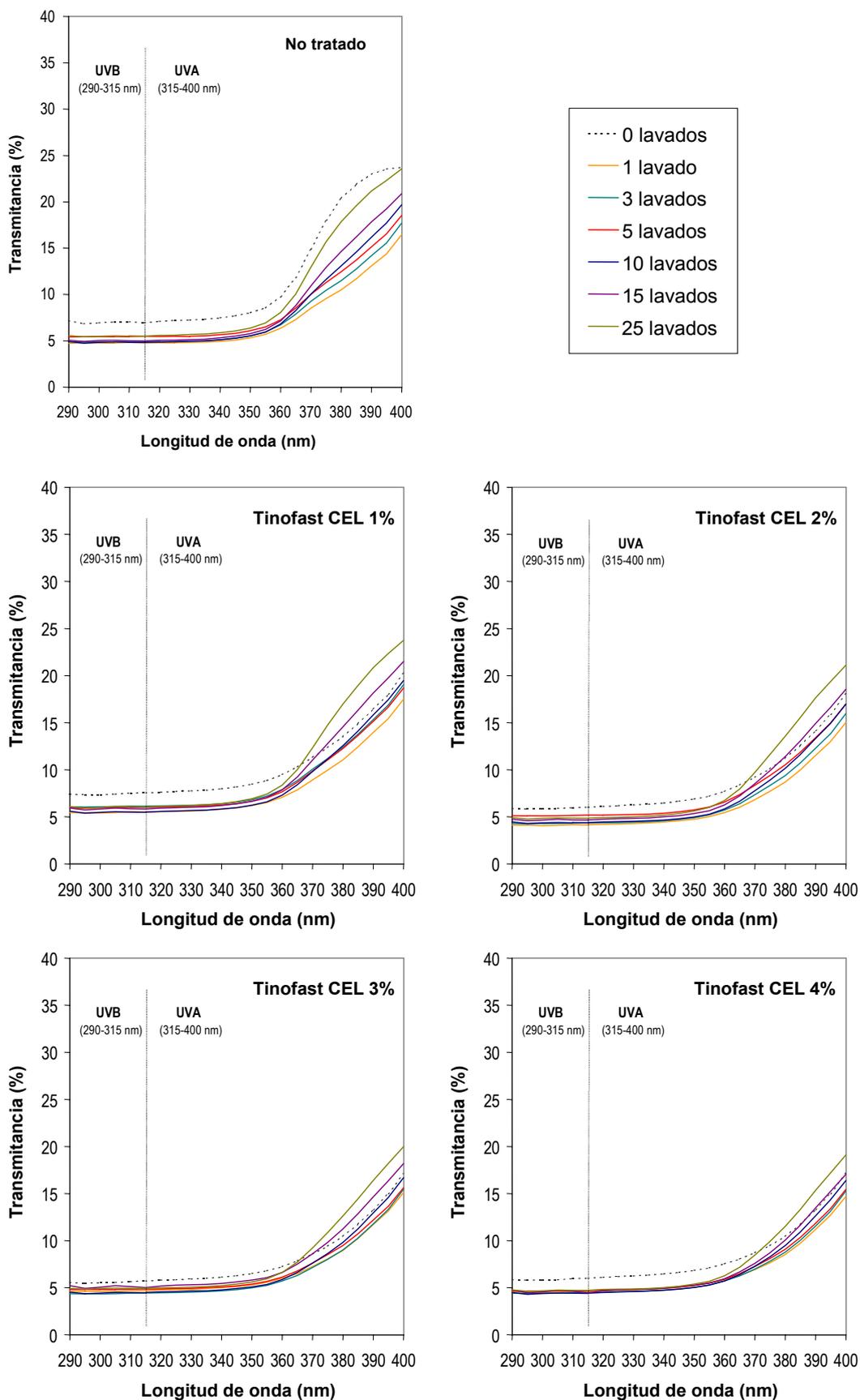


Figura 6.22. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tras lavados repetidos



Muestra de tejido	Nº de lavados	T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
No tratado	0	13,02	6,99	11,71
	1	7,93	4,77	7,24
	3	8,47	4,89	7,69
	5	9,16	5,45	8,35
	10	9,12	4,84	8,19
	15	9,82	5,00	8,77
	25	11,36	5,51	10,09
Tinofast CEL 1%	0	10,57	7,06	9,81
	1	8,70	5,47	7,99
	3	9,63	6,09	8,86
	5	9,46	5,99	8,70
	10	9,37	5,50	8,53
	15	10,40	5,85	9,42
	25	11,47	6,03	10,29
Tinofast CEL 2%	0	9,41	6,11	8,69
	1	6,90	4,12	6,30
	3	7,30	4,30	6,64
	5	8,23	5,13	7,55
	10	7,67	4,37	6,96
	15	8,41	4,68	7,60
	25	9,45	4,85	8,45
Tinofast CEL 3%	0	8,53	5,48	7,86
	1	7,32	4,63	6,73
	3	7,17	4,38	6,56
	5	7,58	4,82	6,98
	10	7,61	4,46	6,92
	15	8,60	5,09	7,84
	25	9,07	4,91	8,16
Tinofast CEL 4%	0	8,50	5,58	7,86
	1	7,09	4,54	6,54
	3	7,12	4,42	6,53
	5	7,35	4,66	6,76
	10	7,44	4,40	6,78
	15	7,81	4,59	7,12
	25	8,53	4,71	7,70

Tabla 6.21. Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun tras lavados repetidos



### 6.3.3.1.2. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos (UPF)

#### 6.3.3.1.2.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Algodón tratados con el producto de acabado tras ser sometidos al ensayo de lavados repetidos se exponen en la Tabla 6.22.

Muestra de tejido	Nº de lavados	Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
No tratado	0	4,06	1
	1	4,08	1
	3	4,08	1
	5	4,21	1
	10	4,06	1
	15	4,22	1
	25	4,01	1
Tinofast CEL 1%	0	14,86	10
	1	16,42	15
	3	15,39	15
	5	13,98	10
	10	15,53	15
	15	14,92	10
	25	12,73	10
Tinofast CEL 2%	0	21,13	20
	1	19,78	15
	3	21,15	20
	5	17,64	15
	10	20,46	20
	15	20,03	20
	25	17,61	15
Tinofast CEL 3%	0	21,04	20
	1	22,80	20
	3	20,29	20
	5	17,95	15
	10	22,82	20
	15	21,29	20
	25	18,76	15
Tinofast CEL 4%	0	23,42	20
	1	23,05	20
	3	23,77	20
	5	20,78	20
	10	22,67	20
	15	23,38	20
	25	22,65	20

Tabla 6.22. UPF de los tejidos de Algodón tras lavados repetidos



En la Figura 6.23 se representan los valores de UPF obtenidos en función del número de lavados.

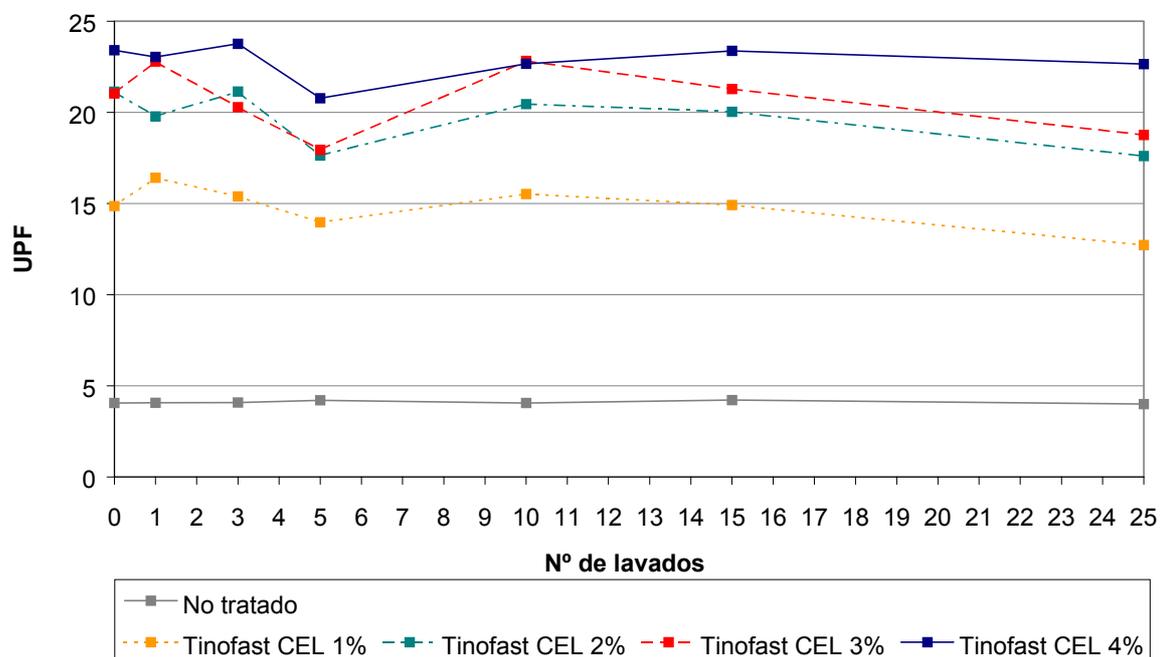


Figura 6.23. Variación del UPF en función del nº de lavados, tejidos de Algodón

La tabla y la figura muestran que no se producen cambios significativos en la protección proporcionada por los tejidos de Algodón debidos al lavado de los mismos. Todos los tejidos, no tratado y tratados a las diferentes concentraciones del producto de acabado, obtienen la misma clasificación de protección al final del ensayo de lavados repetidos. Únicamente se producen pequeñas variaciones en el índice UPF que pueden ser atribuidas a la variabilidad de la medida.

Estos resultados indicarán que la permanencia del efecto de acabado no se ve afectada por los procesos de lavado durante la vida útil del tejido.

#### 6.3.3.1.2.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal tratados con el producto de acabado tras ser sometidos al ensayo de lavados repetidos se exponen en la Tabla 6.23.



Muestra de tejido	Nº de lavados	Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
No tratado	0	5,12	5
	1	5,38	5
	3	5,17	5
	5	4,86	1
	10	4,76	1
	15	4,52	1
	25	4,18	1
Tinofast CEL 1%	0	14,71	10
	1	14,16	10
	3	11,39	10
	5	10,17	10
	10	10,13	10
	15	9,46	5
	25	7,98	5
Tinofast CEL 2%	0	20,12	20
	1	19,83	15
	3	14,26	10
	5	14,31	10
	10	13,84	10
	15	12,56	10
	25	10,67	10
Tinofast CEL 3%	0	20,02	20
	1	20,59	20
	3	16,96	15
	5	16,58	15
	10	14,98	10
	15	13,40	10
	25	12,04	10
Tinofast CEL 4%	0	20,25	20
	1	20,66	20
	3	16,17	15
	5	16,46	15
	10	13,20	10
	15	13,02	10
	25	11,30	10

Tabla 6.23. UPF de los tejidos de Modal tras lavados repetidos

En la Figura 6.24 se representan los valores de UPF obtenidos en función del número de lavados.



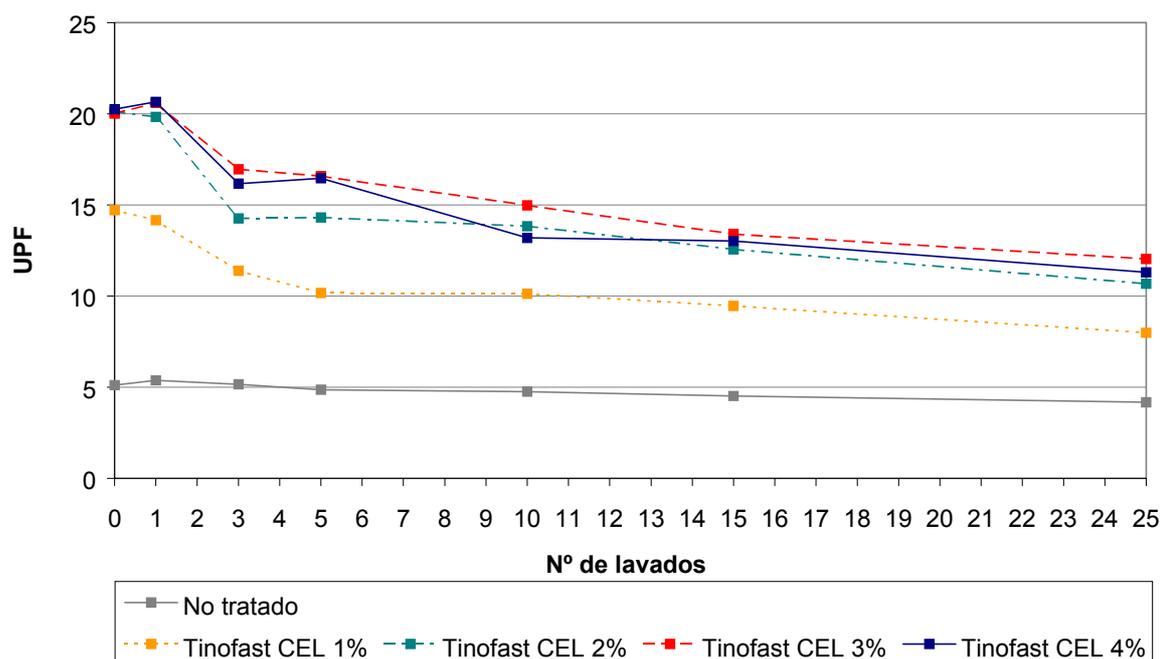


Figura 6.24. Variación del UPF en función del nº de lavados, tejidos de Modal

Al contrario de lo observado para los tejidos de Algodón, el lavado de los tejidos de Modal afecta considerablemente a la protección proporcionada por los tejidos tratados con el producto de acabado. La disminución de la protección es muy significativa, ya que no se mantiene la clasificación de la protección de los tejidos. Los tejidos tratados con un 2, 3 y 4 % s.p.f. del producto de acabado, que originariamente presentaban buena protección, no podrían clasificarse como protectores después de ser lavados. La pérdida de eficacia no es atribuible a cambios en la propia fibra, ya que el tejido no tratado no experimenta una disminución tan considerable en el UPF al ser sometido a lavados repetidos.

Estos resultados indican que el acabado no es suficientemente permanente. El producto no es sólido a los lavados repetidos cuando se aplica sobre la fibra de Modal, provocando una pérdida progresiva de eficacia durante la vida útil de la prenda, de forma que no se puede garantizar el nivel de protección contra la radiación ultravioleta inicial.

#### 6.3.3.1.2.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tratados con el producto de acabado tras ser sometidos al ensayo de lavados repetidos se exponen en la Tabla 6.24.

En la Figura 6.25 se representan los valores de UPF obtenidos en función del número de lavados.

En la serie de tejidos de Modal Sun se puede observar incluso un aumento de la protección proporcionada por los tejidos tras ser sometidos al ensayo de lavados



repetidos. Se produce un aumento bastante importante de la protección tras el primer lavado del tejido que se va manteniendo al ir aumentando el número de lavados.

Estos resultados indicarán que la permanencia del efecto de acabado no se ve afectada por los procesos de lavado durante la vida útil del tejido.

Muestra de tejido	Nº de lavados	Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
No tratado	0	12,66	10
	1	19,30	15
	3	18,32	15
	5	16,26	15
	10	18,63	15
	15	17,95	15
	25	16,03	15
Tinofast CEL 1%	0	12,22	10
	1	16,47	15
	3	14,71	10
	5	15,38	15
	10	16,21	15
	15	15,48	15
	25	14,80	10
Tinofast CEL 2%	0	14,48	10
	1	21,54	20
	3	19,73	15
	5	17,28	15
	10	20,19	20
	15	18,98	15
	25	17,83	15
Tinofast CEL 3%	0	15,99	15
	1	18,91	15
	3	20,51	20
	5	19,07	15
	10	20,07	20
	15	17,21	15
	25	18,14	15
Tinofast CEL 4%	0	15,65	15
	1	19,89	15
	3	20,54	20
	5	16,26	15
	10	19,96	15
	15	19,46	15
	25	19,55	15

Tabla 6.24. UPF de los tejidos de Modal Sun tras lavados repetidos



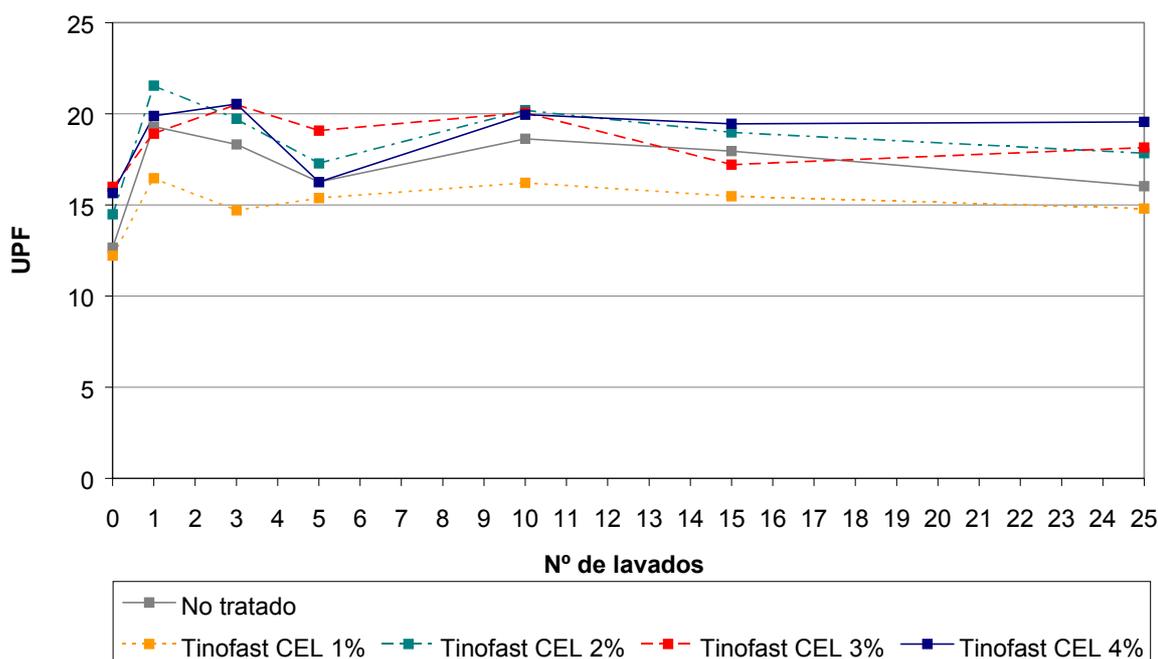


Figura 6.25. Variación del UPF en función del nº de lavados, tejidos de Modal Sun

### 6.3.3.2. Permanencia del acabado tras exposición a la luz artificial

#### 6.3.3.2.1. Espectros de transmisión de radiación en el ultravioleta de los tejidos

##### 6.3.3.2.1.1. Tejidos de Algodón

La Figura 6.26 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Algodón no tratados y tratados con las diferentes concentraciones del producto de acabado, después de ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.25.

En la figura se observa que, en general, se produce un ligero aumento de la transmisión de la radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados con el producto de acabado en todas las longitudes de onda, como consecuencia de la realización del ensayo de exposición a la luz artificial. El tejido no tratado experimenta una disminución de la transmisión en parte del espectro ultravioleta.

Los resultados numéricos expuestos en la tabla indican que la transmitancia a través de los tejidos varía muy poco al ser sometidos los tejidos de Algodón a la acción de la luz artificial. No se observa ninguna relación clara entre la transmisión y las horas de exposición.



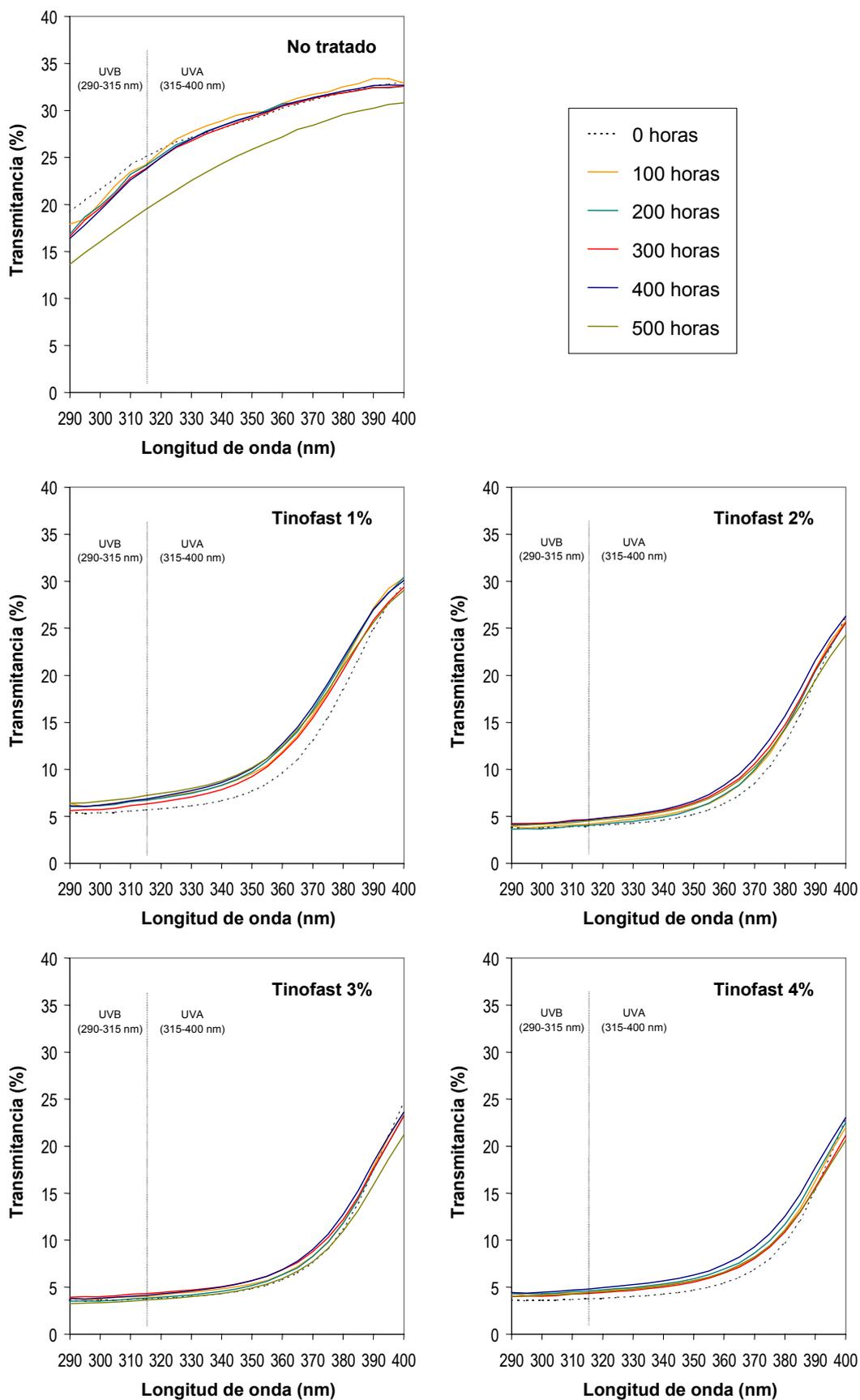


Figura 6.26. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Algodón tras exposición a la luz



Muestra de tejido	Nº de horas de exposición	T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
No tratado	0	29,76	22,01	27,97
	100	30,09	21,03	27,98
	200	29,62	20,67	27,52
	300	29,46	20,38	27,34
	400	29,62	20,14	27,40
	500	26,27	16,59	24,04
Tinofast CEL 1%	0	13,13	5,63	11,49
	100	14,51	6,21	12,69
	200	14,71	6,19	12,84
	300	14,42	6,08	12,59
	400	15,18	6,45	13,26
	500	14,55	6,51	12,78
Tinofast CEL 2%	0	9,67	4,01	8,44
	100	10,23	4,02	8,87
	200	10,54	4,05	9,12
	300	10,49	4,29	9,13
	400	10,67	4,05	9,22
	500	10,16	4,16	8,84
Tinofast CEL 3%	0	8,98	3,87	7,87
	100	8,84	3,69	7,72
	200	8,86	3,62	7,72
	300	9,18	4,01	8,05
	400	9,30	3,80	8,10
	500	8,41	3,57	7,35
Tinofast CEL 4%	0	8,07	3,71	7,12
	100	8,71	4,20	7,73
	200	9,24	4,44	8,19
	300	8,82	4,27	7,82
	400	9,66	4,54	8,54
	500	8,71	4,24	7,73

Tabla 6.25. Transmisiones medias de los tejidos de Algodón tras exposición a la luz

#### 6.3.3.2.1.2. Tejidos de Modal

En la Figura 6.27 se representan los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal no tratados y tratados con las diferentes concentraciones del producto de acabado, después de ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial. La figura nos muestra que se produce un aumento de transmisión en todas las longitudes de onda de la radiación ultravioleta a través de los tejidos cuando se someten a la acción de la luz artificial.

Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.26.



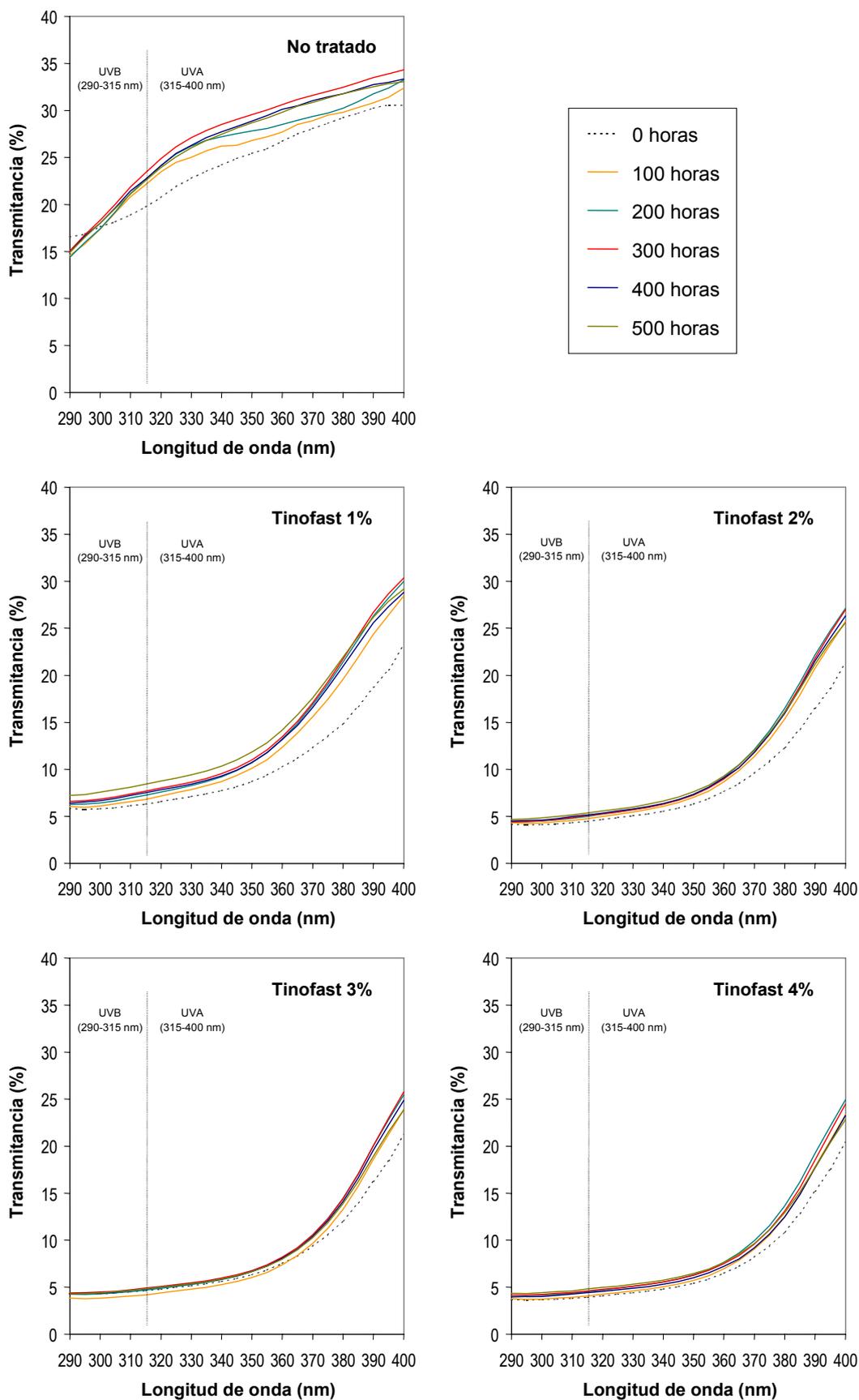


Figura 6.27. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal tras exposición a la luz



Muestra de tejido	Nº de horas de exposición	T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
No tratado	0	26,12	17,95	24,27
	100	26,21	18,29	24,32
	200	28,38	18,45	26,04
	300	29,94	19,23	27,43
	400	29,23	18,88	26,81
	500	29,03	18,77	26,63
Tinofast CEL 1%	0	11,75	6,00	10,48
	100	14,29	6,34	12,54
	200	15,25	6,65	13,35
	300	15,59	7,05	13,71
	400	15,08	6,88	13,27
	500	15,86	7,58	14,03
Tinofast CEL 2%	0	9,38	4,23	8,25
	100	11,01	4,39	9,56
	200	11,77	4,63	10,20
	300	11,57	4,67	10,06
	400	11,43	4,69	9,95
	500	11,44	4,82	9,98
Tinofast CEL 3%	0	9,07	4,18	8,00
	100	9,63	3,84	8,36
	200	10,50	4,30	9,14
	300	10,66	4,56	9,32
	400	10,47	4,47	9,15
	500	10,27	4,46	9,00
Tinofast CEL 4%	0	8,74	4,03	7,71
	100	9,22	3,79	8,03
	200	10,16	4,26	8,86
	300	10,06	4,43	8,82
	400	9,60	4,20	8,41
	500	9,75	4,42	8,58

Tabla 6.26. Transmisiones medias de los tejidos de Modal tras exposición a la luz

Los resultados numéricos corroboran lo observado en las curvas de transmitancia. Se observa un ligero aumento de la transmisión al someter a los tejidos a la exposición a la luz artificial. Sin embargo, no se observa ninguna relación clara entre la transmisión y las horas de exposición.

#### 6.3.3.2.1.3. Tejidos de Modal Sun

La Figura 6.28 muestra los espectros de transmisión difusa en el ultravioleta obtenidos en la medida de los tejidos de Modal Sun no tratados y tratados con las diferentes concentraciones del producto de acabado, después de ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial.



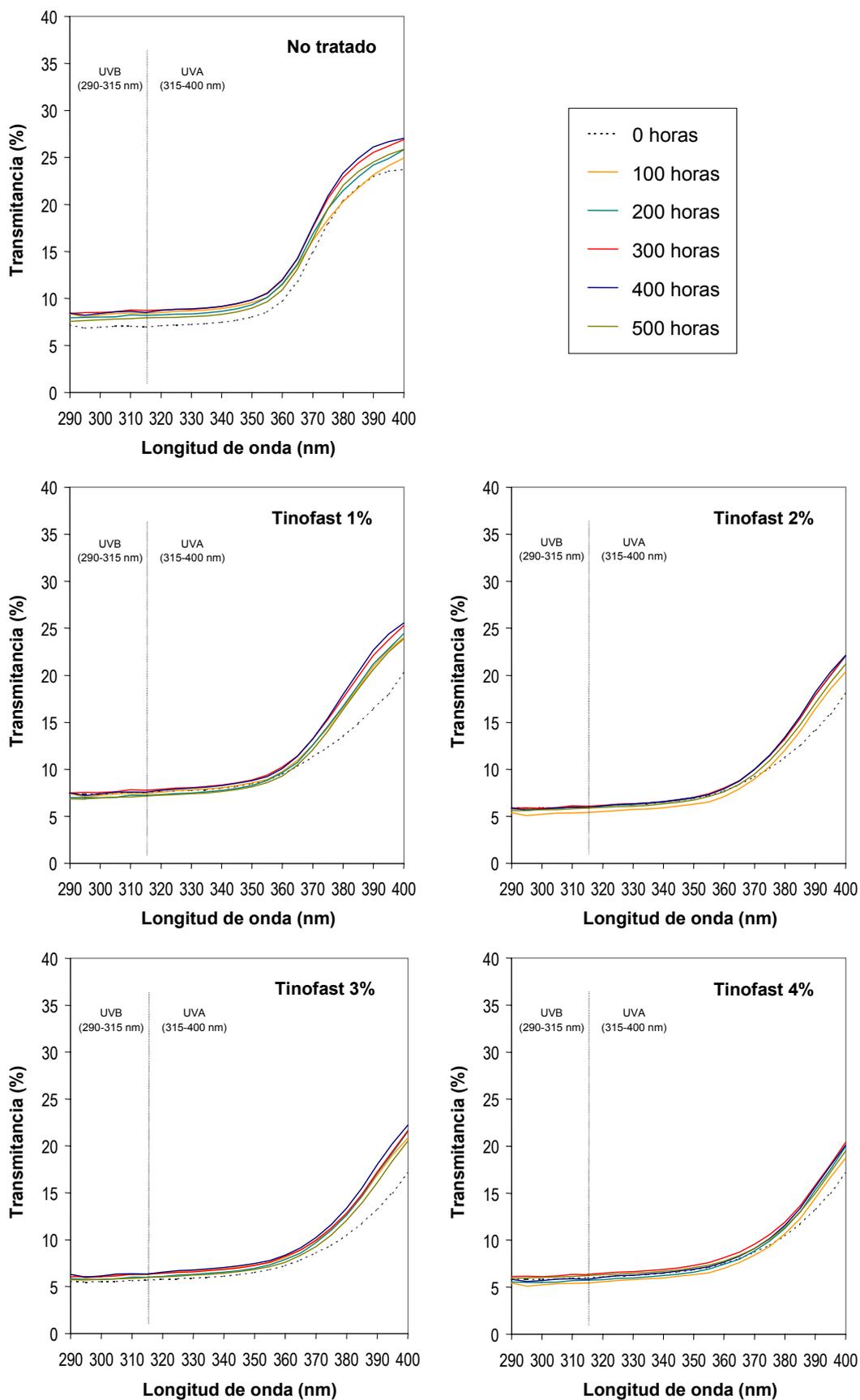


Figura 6.28. Espectros de transmisión en el ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tras exposición a la luz



Si se calculan las transmisiones medias en el UVA, UVB y en el total del espectro ultravioleta UVR, se obtienen los resultados expuestos en la Tabla 6.27.

Muestra de tejido	Nº de horas de exposición	T <sub>UVA</sub> media (315 - 400 nm)	T <sub>UVB</sub> media (290 - 315 nm)	T <sub>UVR</sub> media (290 - 400 nm)
No tratado	0	13,02	6,99	11,71
	100	14,14	8,31	12,86
	200	14,41	8,07	13,02
	300	15,19	8,58	13,75
	400	15,32	8,46	13,83
	500	14,25	7,75	12,83
Tinofast CEL 1%	0	10,57	7,06	9,81
	100	12,40	7,38	11,31
	200	12,63	7,31	11,47
	300	13,16	7,79	11,98
	400	13,15	7,52	11,92
	500	12,21	7,15	11,10
Tinofast CEL 2%	0	9,41	6,11	8,69
	100	9,36	5,24	8,46
	200	10,23	5,84	9,27
	300	10,21	5,87	9,26
	400	10,33	5,82	9,35
	500	9,93	5,79	9,02
Tinofast CEL 3%	0	8,53	5,48	7,86
	100	10,04	6,07	9,18
	200	10,05	5,89	9,14
	300	10,22	6,11	9,32
	400	10,57	6,20	9,62
	500	9,54	5,72	8,70
Tinofast CEL 4%	0	8,50	5,58	7,86
	100	9,22	5,67	8,45
	200	9,52	5,78	8,70
	300	10,19	6,42	9,36
	400	9,74	5,92	8,90
	500	9,28	5,90	8,54

Tabla 6.27. Transmisiones medias de los tejidos de Modal Sun tras exposición a la luz

También para la serie de tejidos de Modal Sun se observa, en general, un aumento de la transmisión de radiación ultravioleta al ser sometidos los tejidos al ensayo de exposición a la luz artificial. Tampoco en este caso se puede establecer una correlación entre el aumento de la transmisión y las horas de exposición.



### 6.3.3.2.2. Factor de protección a la radiación ultravioleta de los tejidos (UPF)

#### 6.3.3.2.2.1. Tejidos de Algodón

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Algodón tratados con el producto de acabado tras ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial se exponen en la Tabla 6.28.

Muestra de tejido	Nº de horas de exposición	Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
No tratado	0	4,06	1
	100	4,26	1
	200	4,34	1
	300	4,38	1
	400	4,34	1
	500	5,31	5
Tinofast CEL 1%	0	14,86	10
	100	13,47	10
	200	13,42	10
	300	13,66	10
	400	13,24	10
	500	12,83	10
Tinofast CEL 2%	0	21,13	20
	100	19,63	15
	200	19,80	15
	300	20,44	20
	400	19,55	15
	500	19,93	15
Tinofast CEL 3%	0	21,04	20
	100	21,66	20
	200	21,52	20
	300	19,67	15
	400	21,75	20
	500	22,65	20
Tinofast CEL 4%	0	23,42	20
	100	20,59	20
	200	19,10	15
	300	19,89	15
	400	19,00	15
	500	20,00	20

Tabla 6.28. UPF de los tejidos de Algodón tras exposición a la luz

En la Figura 6.29 se representan los valores de UPF obtenidos en función del número de horas de exposición.



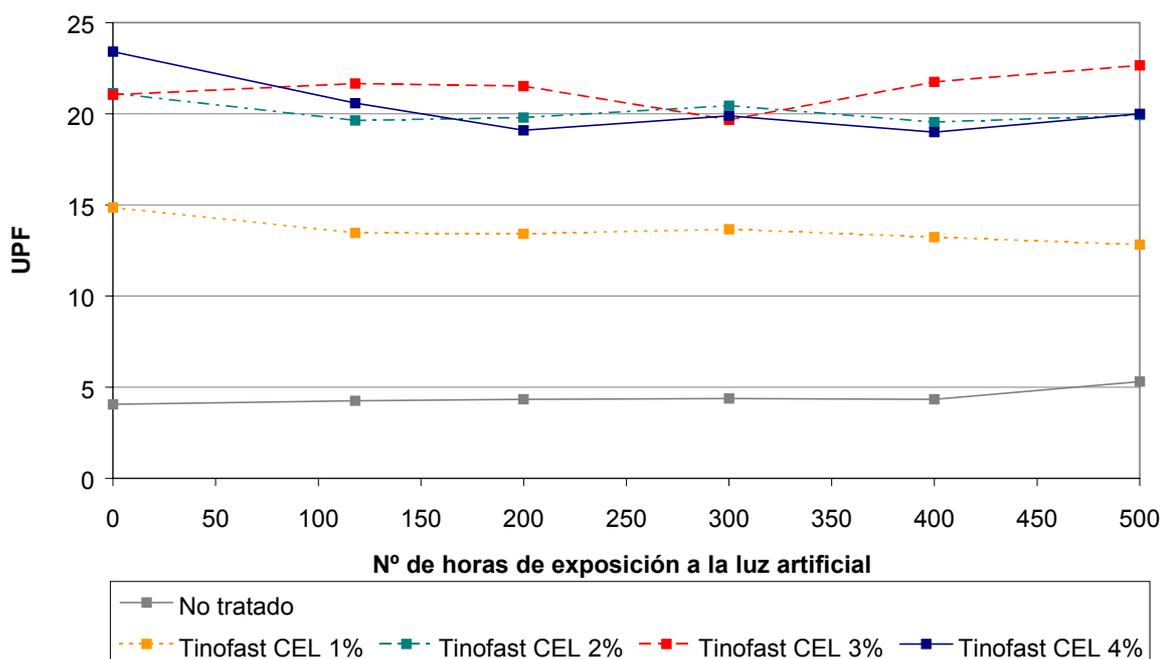


Figura 6.29. Variación del UPF en función del nº de horas de exposición, tejidos de Algodón

La tabla y la figura muestran que no se producen cambios significativos en la protección proporcionada por los tejidos de Algodón tras ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial. Todos los tejidos, el no tratado y los tratados a las diferentes concentraciones del producto de acabado, obtienen después del ensayo la misma clasificación de protección que tenían originalmente. Únicamente se producen pequeñas variaciones en el índice UPF, que no son suficientes para que varíe la categoría de protección proporcionada, y que pueden ser atribuidas a la variabilidad de la medida.

Estos resultados indicarán que la permanencia del efecto de acabado no se ve afectada por la exposición a la luz durante la vida útil del tejido. No se produce ningún tipo de degradación del acabado realizado.

#### 6.3.3.2.2.2. Tejidos de Modal

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal tratados con el producto de acabado tras ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial se exponen en la Tabla 6.29.

En la Figura 6.30 se representan los valores de UPF obtenidos en función del número de horas de exposición.



Muestra de tejido	Nº de horas de exposición	Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
No tratado	0	5,12	5
	100	4,82	1
	200	4,63	1
	300	4,49	1
	400	4,56	1
	500	4,62	1
Tinofast CEL 1%	0	14,71	10
	100	13,98	10
	200	12,96	10
	300	12,03	10
	400	12,83	10
	500	11,52	10
Tinofast CEL 2%	0	20,12	20
	100	18,99	15
	200	17,92	15
	300	18,39	15
	400	17,88	15
	500	17,69	15
Tinofast CEL 3%	0	20,02	20
	100	22,02	20
	200	19,67	15
	300	19,36	15
	400	19,52	15
	500	19,18	15
Tinofast CEL 4%	0	20,25	20
	100	22,11	20
	200	19,79	15
	300	19,06	15
	400	20,66	20
	500	19,51	15

Tabla 6.29. UPF de los tejidos de Modal tras exposición a la luz

Para la serie de tejidos de Modal se observa, en general, una ligera disminución de la protección proporcionada cuando los tejidos se someten a exposición a la luz artificial, que, sin embargo, no es suficiente para que varíe la clasificación de protección de los tejidos tratados. Es decir, el efecto de acabado es suficientemente permanente ante la acción de la luz a la que se podrá someter durante su vida útil.



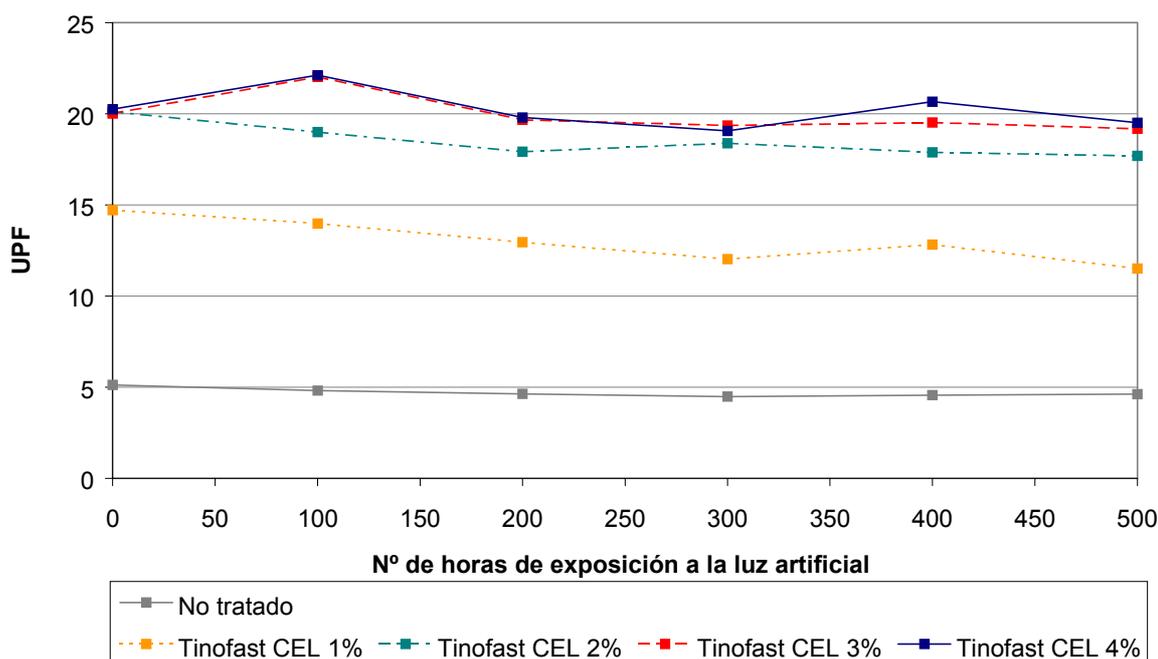


Figura 6.30. Variación del UPF en función del nº de horas de exposición, tejidos de Modal

#### 6.3.3.2.2.3. Tejidos de Modal Sun

Los resultados obtenidos en la medida del Factor de Protección a la Radiación ultravioleta de los tejidos de Modal Sun tratados con el producto de acabado tras ser sometidos al ensayo de exposición a la luz artificial se exponen en la Tabla 6.30.

En la Figura 6.31 se representan los valores de UPF obtenidos en función del número de horas de exposición.

En la serie de tejidos de Modal Sun se producen pequeñas variaciones en el factor de protección que, en algunos casos, provocan un cambio de clasificación del tejido en cuanto a su protección contra la radiación ultravioleta. Sin embargo, estas pequeñas variaciones pueden ser atribuidas a la variabilidad en la medida que, en este caso, se hace muy importante al obtener los tejidos valores de UPF muy cercanos a 15. Por ello, una pequeña variación puede provocar el cambio de clasificación y hace que sea difícil asegurar que dicha variación sea debida a una degradación del acabado por la acción de la luz.



Muestra de tejido	Nº de horas de exposición	Factor Protección Ultravioleta (UPF)	Índice UPF
No tratado	0	12,66	10
	100	11,10	10
	200	10,90	10
	300	10,43	10
	400	10,73	10
	500	11,76	10
Tinofast CEL 1%	0	12,22	10
	100	12,13	10
	200	12,28	10
	300	11,50	10
	400	11,92	10
	500	12,39	10
Tinofast CEL 2%	0	14,48	10
	100	16,22	15
	200	15,64	15
	300	15,62	15
	400	15,68	15
	500	15,48	15
Tinofast CEL 3%	0	15,99	15
	100	14,85	10
	200	15,43	15
	300	15,20	15
	400	14,51	10
	500	15,93	15
Tinofast CEL 4%	0	15,65	15
	100	15,46	15
	200	15,07	15
	300	13,62	10
	400	15,53	15
	500	15,05	15

Tabla 6.30. UPF de los tejidos de Modal Sun tras exposición a la luz



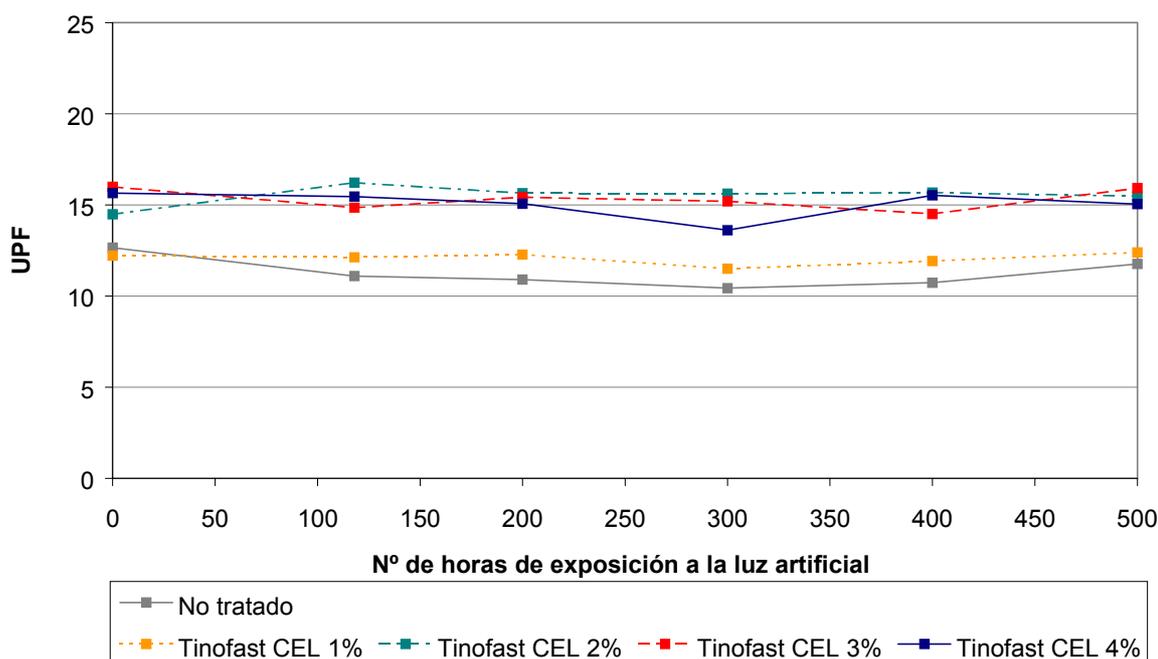


Figura 6.31. Variación del UPF en función del nº de horas de exposición, tejidos de Modal Sun

### 6.3.4. Carga ecotoxicológica del tratamiento de acabado

#### 6.3.4.1. Principales contaminantes en la industria textil y legislación aplicable

Los principales agentes contaminantes de las aguas en el caso de la industria de acabado textil son las aguas residuales y compuestos químicos.

Las aguas residuales contienen mayormente materias orgánicas que precisan oxígeno. Son, por tanto, un agente desoxigenador del agua cuando entran en descomposición, que generan además olores desagradables. La DBO aumenta y el limitado oxígeno disuelto no es suficiente para posibilitar la recuperación de dichos elementos. La naturaleza no es capaz por sí sola de realizar el proceso de autopurificación de los cursos de agua, por lo que será necesario determinar si las aguas residuales de una industria (consecuencia de los tratamientos que aplique) debe ser depurada antes de su vertido.

Los compuestos químicos podrían contener también nitrógeno y fosfato, que permiten un acelerado crecimiento de algas presentes en el agua. Cuando las algas mueren, se depositan en el fondo y sirven como alimento para las bacterias, permitiendo un aumento de la cantidad de bacterias en el agua. A su vez, las bacterias consumen oxígeno, quedando muy poco para los otros seres vivos del agua, principalmente insectos y peces, los que mueren por falta de oxígeno. Este proceso se llama eutroficación y, en casos extremos, podría producir la muerte de toda forma de vida en un cuerpo de agua <sup>(61)</sup>.

Los vertidos procedentes del sector textil, ramo del agua, en general tienen las siguientes características <sup>(62)</sup>:



- Los caudales de vertido son a veces elevados. Frecuentemente se sitúan en 300-100 m<sup>3</sup> por día, aunque en algunas empresas de gran tamaño pueden llegar a 5000-10000 m<sup>3</sup>.
- Se producen variaciones constantes de calidad y cantidad en función de los tratamientos.
- Los vertidos pueden tener fuerte coloración.
- Aunque generalmente los vertidos tienen un pH neutro, se pueden producir alteraciones, dando desde pH alcalino (si se llevan a cabo tratamientos de mercerizado, por ejemplo) a ácido (por ejemplo en tratamientos de carbonizado).
- La DQO suele ser moderadamente elevada, entre 500 y 1000 mg/l.
- El contenido de Materias en Suspensión (MES) también suele ser moderado, entre 300 y 1000 mg/l.
- A menudo se detecta la presencia de detergentes, en cantidades pequeñas. Sin embargo, es suficiente con algunos mg/l para que se produzcan espumas.
- La salinidad es moderada, entre 1000 y 3000 mg/l de cloruros. Esta moderada salinidad es importante, ya que no sufre modificación en la depuración de las aguas, por lo que el impacto salino no es despreciable.
- El contenido de nutrientes (fosfato, amonio) es moderado o bajo.
- Se detecta presencia de compuestos organoclorados, con AOX entre 0,2 y 1 mg/l, entre los que se encuentran percloetileno, tricloroetileno y triclorobenceno, en un orden de µg/l. Estos compuestos son tóxicos y persistentes.
- La presencia de metales pesados es baja (normalmente sólo cromo), con valores no importantes.
- La toxicidad no presenta usualmente valores altos, menores que 10 equitox.

Para evaluar si el tratamiento con el producto de acabado absorbente de radiación UV produce una elevada carga ecotoxicológica, en los baños residuales de tratamiento se han evaluado los parámetros que la experiencia indica que son apropiados por las características de la industria química textil: toxicidad, DQO, DBO, AOX, TOC, MES, cloruros, pH, conductividad, biodegradación, fosfatos y sulfatos.

No existe una legislación general que proporcione valores límite de estas sustancias en los vertidos industriales. Los límites se fijan individualmente en el expediente correspondiente a cada una de las empresas que producen vertidos, por el organismo que emita el permiso de vertido. Los valores límite dependerán de varios factores <sup>(62)</sup>:



- En primer lugar se analizará el tipo de vertido, a qué sector industrial corresponde.
- También dependerá del volumen del vertido y la distribución temporal del mismo.
- De las características del medio receptor. El límite no será el mismo si se vierte a un río caudaloso o a una riera, o a un embalse o estanque, tampoco será el mismo si se trata de un medio poco mineralizado o mucho, etc.
- Se tendrán en cuenta los efectos aditivos. Los límites serán más estrictos si existen vertidos cercanos de similares características.
- También se examinarán los posibles usos del agua en la zona después del vertido. Los límites dependerán si el agua se utilizará para abastecimiento o riego, o si la zona tiene vida acuática o se trata de un espacio de interés natural.

Ya que actualmente no existe ninguna reglamentación oficial que proporcione información de referencia sobre límites de vertido en general, como guía para el análisis de resultados en esta tesis se han considerado las tablas de referencia del Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup>, aunque hay que señalar que este reglamento actualmente no es de aplicación. Como se indicó anteriormente, los límites se fijan individualmente para cada actividad industrial. En el análisis de parámetros que no estaban contemplados en el reglamento citado se ha recurrido a las “Taules de referència per a abocament a llera pública” de la Agència Catalana de Aigua <sup>(62)</sup>. Para la interpretación de los resultados de toxicidad se ha tomado como guía la tabla adaptada por M.C. Riva en su tesis doctoral <sup>(67)</sup> propuesta por el “National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)” en su “Registry of toxic effects of chemical substances” <sup>(68)</sup>.

Cabe destacar que, aunque se discuten los resultados tomando límites en normativas de vertidos, los baños residuales del tratamiento con el producto de acabado no pueden considerarse como tales. Son baños residuales de un tratamiento en particular y obtenidos en laboratorio. Si se tratara de un proceso industrial, los baños residuales del tratamiento se unirían a otros baños procedentes de otros tratamientos. De esta forma, sería muy posible que la carga ecotoxicológica se atenuara debido a la neutralización por mezcla con otros productos y/o a la disolución con baños residuales más limpios, como son los procedentes de lavados.

### **6.3.4.2. Evaluación de la carga ecotoxicológica**

#### **6.3.4.2.1. Inhibición de la movilidad en *Daphnia***

La concentración que produce una inhibición del movimiento del 50% a las 48 (CE<sub>50</sub> 48 h) ha sido determinada mediante el método Probit con unos límites de confianza del 95%, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 6.31.



Muestra	Inhibición en <i>Daphnia Magna</i>	
	CE <sub>50</sub> (48 h) (mg/l)	P <sub>0,05</sub>
Inicial (Tinofast CEL 2%)	0,195	7,06·10 <sup>-18</sup> - 1,032
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	0,260	3,80·10 <sup>-4</sup> - 1,024
Baño residual Algodón	14,26	11,39 - 17,93
Baño residual Modal	24,45	18,56 - 33,04
Baño residual Modal Sun	25,58	20,27 - 31,12

Tabla 6.31. Inhibición de la movilidad en *Daphnia*

En la tabla se puede observar que se produce la inhibición de la movilidad del 50% de los especímenes de *Daphnia magna* con concentraciones muy pequeñas de los baños iniciales de tratamiento con el producto de acabado y con el producto de acabado y la sal. Los valores de CE<sub>50</sub> están por debajo de 1 mg/l y, por lo tanto, se puede considerar que el baño inicial es altamente tóxico <sup>(67, 68)</sup>.

Sin embargo, una vez realizado el tratamiento se produce un consumo del producto que queda fijado en los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun. La concentración del producto en los baños residuales del tratamiento disminuye y se necesitan concentraciones mucho mayores de los baños residuales para provocar la inhibición del movimiento del 50% de las Daphnias. La mayor toxicidad de los baños residuales se produce en el tratamiento de los tejidos de Algodón, mientras que los baños residuales del tratamiento de los tejidos de Modal y Modal Sun presentan toxicidades menores y de valor muy similar. En todos los casos, los valores están comprendidos entre los límites de 10 – 100 mg/l, clasificándose los baños como ligeramente tóxicos <sup>(67, 68)</sup>, según la NIOSH. Si se toman como referencia los límites que la Agència Catalana de Aigua señala como referencia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>, 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.

#### 6.3.4.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.32.

Muestra	DQO (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	1946	0
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	1864	39
Baño residual Algodón	1637	104
Baño residual Modal	1563	0
Baño residual Modal Sun	1570	78

Tabla 6.32. Demanda Química de Oxígeno



Los resultados muestran que los valores de DQO de los baños que contienen el producto de acabado utilizado así como de los baños residuales del tratamiento con dicho producto son excesivamente altos.

El consumo de oxígeno debido al contenido de materias oxidables de los baños iniciales de tratamiento es algo superior al que se consume en los baños residuales después del tratamiento de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun, es decir, la DQO mejora después del tratamiento. La DQO de dichos baños residuales es muy similar, por lo que no se puede apreciar diferencias en este parámetro debidas al tratamiento de las diferentes fibras.

En todos los casos, los valores de DQO de los baños residuales superan en gran medida el valor límite de 500 mg/l que se indicaba como referencia límite de vertido en la tabla 1 (la más permisiva) del Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup>, así como en la tabla de máxima tolerancia que la Agència Catalana de Aigua señala como referencia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>.

#### 6.3.4.2.3. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.33.

Muestra	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	684	82
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	626	89
Baño residual Algodón	393	71
Baño residual Modal	462	55
Baño residual Modal Sun	423	39

Tabla 6.33. Demanda Biológica de Oxígeno

En la tabla se puede observar que los valores de la demanda biológica de oxígeno de los baños iniciales de tratamiento con el producto de acabado se sitúan en torno a los 600 mg/l, valor que sería característico de efluentes industriales fuertemente contaminados.

Una vez realizado el tratamiento, sin embargo, parece que el consumo del producto hace que los valores de DBO<sub>5</sub> de los baños residuales disminuyan considerablemente, situándose en valores cercanos a 400 mg/l que podrían ser considerados como efluentes industriales débilmente contaminados.

No se han encontrado diferencias significativas entre los valores de DBO<sub>5</sub> correspondientes a los distintos baños residuales del tratamiento de Algodón, Modal y Modal Sun, por lo que no se puede apreciar diferencias en este parámetro debidas al tratamiento de las diferentes fibras.



En todos los casos, los valores de DBO<sub>5</sub> de los baños residuales superan el valor límite de 300 mg/l que se indicaba como referencia límite de vertido en la tabla 1 (la más permisiva) del Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup>, así como en la tabla de máxima tolerancia que la Agència Catalana de Aigua señala como referencia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>.

#### 6.3.4.2.4. Compuestos Orgánicos Halogenados (AOX)

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.34.

Muestra	AOX (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	12,40	0,52
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	11,16	0,13
Baño residual Algodón	0,52	0,02
Baño residual Modal	2,78	0,01
Baño residual Modal Sun	2,12	0,06

Tabla 6.34. Compuestos Orgánicos Halogenados

En la tabla se puede observar que los valores de AOX de los baños iniciales de tratamiento con el producto de acabado tienen valores muy elevados, en torno a 12 mg/l.

Una vez realizado el tratamiento, los valores de AOX disminuyen significativamente. Se observa que la menor concentración de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles se ha medido en el baño residual del tratamiento del tejido de Algodón. Los valores de AOX obtenidos en los baños residuales de tratamiento de los tejidos de Modal Sun son algo más elevados, pero sin llegar a superar los 2,5 mg/l que la Agència Catalana de Aigua señala como valor límite de referencia de máxima tolerancia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>. Los valores de AOX del baño residual de tratamiento de los tejidos de Modal superan ligeramente este límite de referencia. Todos los baños residuales superan el límite de referencia de tolerancia media, de valor 0,5 mg/l.

#### 6.3.4.2.5. Carbono Orgánico Total (TOC)

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.35.

Muestra	TOC (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	754,65	25,95
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	753,05	3,89
Baño residual Algodón	681,45	12,51
Baño residual Modal	645,00	21,92
Baño residual Modal Sun	672,15	14,35

Tabla 6.35. Carbono Orgánico Total



En la tabla se puede observar que los valores de TOC de los baños iniciales de tratamiento con el producto de acabado están en torno a 750 mg/l. Una vez realizado el tratamiento, los valores de TOC disminuyen ligeramente. Aunque no se producen diferencias muy significativas, los baños residuales del tratamiento de los tejidos de Algodón tienen un valor de TOC ligeramente superior, mientras que los de Modal presentan el menor valor.

En todos los casos los valores de TOC son excesivamente elevados, superando los 160 mg/l que la Agència Catalana de Aigua señala como valor límite de referencia de máxima tolerancia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>.

#### 6.3.4.2.6. Materias en suspensión

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.36.

Muestra	MES (g/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	≤ 0,008	
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	0,073	0,005
Baño residual Algodón	0,102	0,003
Baño residual Modal	0,217	0,020
Baño residual Modal Sun	0,214	0,020

Tabla 6.36. Materias en Suspensión

En la tabla se puede observar que el valor de MES del baño inicial que contiene únicamente el producto de acabado es muy bajo. Este valor es un poco superior cuando al baño inicial se añade la sal. Los baños residuales del tratamiento de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun presentan valores algo más altos, como era de esperar, ya que durante el tratamiento se pueden haber desprendido partículas presentes en los tejidos. El baño residual del tratamiento del tejido de Algodón presenta el menor valor de MES, siendo mayores y muy similares los valores obtenidos para los baños resultantes del tratamiento de los tejidos de Modal y Modal Sun.

En ningún caso, los valores de MES superan el valor límite de 300 mg/l que se indicaba como referencia límite del vertido en la tabla 1 (la más permisiva) del Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup>, así como en la tabla de máxima tolerancia que la Agència Catalana de Aigua señala como referencia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>. En cambio, todos los baños residuales del tratamiento superan el límite de 60 mg/l indicado en la tabla 2 (algo más restrictiva) del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, o los 80 mg/l que se señalan como tolerancia media por la Agència Catalana de l'Aigüa.

#### 6.3.4.2.7. Cloruros

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.37.



Muestra	Cloruros (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	51,5	0,70
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	51,5	0,70
Baño residual Algodón	50,5	0,70
Baño residual Modal	97,5	0,70
Baño residual Modal Sun	89,0	1,41

Tabla 6.37. Contenido de cloruros

Como se puede observar en la tabla el contenido de cloruros se sitúa en torno a los 50 mg/l para las soluciones iniciales del baño de tratamiento. El baño residual del tratamiento del tejido de Algodón no sufre modificaciones significativas en el contenido de cloruros, mientras que los baños residuales del tratamiento de los tejidos de Modal y Modal Sun han presentado un aumento de su concentración.

En ningún caso, los valores superan el valor límite de 2000 mg/l que se indicaba como referencia límite en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup> o en las tablas de referencia para el vertido en cauce público de la Agència Catalana de Aigua <sup>(62)</sup>.

#### 6.3.4.2.8. Fosfatos

Para la determinación de fosfatos por el método colorimétrico se debe realizar en primer lugar una recta de calibrado con concentraciones conocidas. Se ha medido la absorbancia a 420 nm de longitud de onda de disoluciones de 1, 2, 3 y 4 mg/l de ácido vanadomolibdato fosfato. La recta de calibración, con una  $R^2 = 0,9999$ , es la siguiente:

$$A = 0,0647 \cdot C + 0,001$$

donde: A: absorbancia

C: concentración

Para la determinación de la concentración de fosfatos se ha medido la absorbancia por duplicado de las muestras de los baños iniciales y residuales y se ha calculado la concentración de fosfatos a partir de la recta de calibración anterior. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.38.

Muestra	Fosfatos (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	1,151	0.033
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	1,043	0.011
Baño residual Algodón	4,127	0.022
Baño residual Modal	1,546	0.022
Baño residual Modal Sun	2,210	0.022

Tabla 6.38. Contenido de fosfatos



Tal como se aprecia en la tabla, los baños iniciales de tratamiento con el producto de acabado y con el producto de acabado y la sal, presentan unas pequeñas cantidades de fosfatos. Este hecho no es de extrañar si se tiene en cuenta que este compuesto químico se encuentra en muchas formulaciones comerciales dentro de la industria textil.

Los valores de este parámetro aumentan en los baños residuales del tratamiento. La concentración de fosfatos en el baño residual del tejido de Modal es la que obtiene valores más parecidos a los del baño inicial, seguido por el baño residual de tratamiento del tejido de Modal Sun. En el caso, del baño residual de tratamiento del tejido de Algodón, la concentración de fosfatos es sensiblemente superior.

En todos los casos el contenido de fosfatos de los baños residuales del tratamiento es muy bajo y se sitúa por debajo de los 10 mg/l que la Agència Catalana de Aigua señala como valor límite de referencia de máximo rigor para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>.

#### 6.3.4.2.9. Sulfatos

Para la determinación de sulfatos por el método turbidimétrico se calcula una recta de calibrado con concentraciones conocidas. Se ha medido la turbidez de disoluciones de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 mg/l de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/l. La recta de calibración, con R<sup>2</sup> = 0,9958, es:

$$NTU = 5,2623 \cdot C - 7,4498$$

donde: NTU: turbidez  
C: concentración

Para la determinación de la concentración de sulfatos se ha medido por duplicado la turbidez de 2 disoluciones diferentes de cada una de las muestras de los baños iniciales y residuales. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.39.

Muestra	Sulfatos (mg/l)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	10,21	0,73
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	10368	174
Baño residual Algodón	10087	466
Baño residual Modal	9664	264
Baño residual Modal Sun	11109	614

Tabla 6.39. Contenido de sulfatos

Los resultados muestran que la concentración de sulfatos en el baño inicial del tratamiento con el producto de acabado es muy pequeña. Sin embargo, este parámetro sufre un notable incremento con la adición de la sal (sulfato de sodio) en el baño inicial de tratamiento, como era de esperar.

En los baños residuales del tratamiento de los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun, se mantiene la concentración del ión sulfato que se tenía antes del tratamiento, lo que



parece confirmar que no ha habido un consumo de la sal durante el tratamiento. Los valores obtenidos son muy similares y no se puede afirmar que exista una diferencia en este parámetro debida al tipo de fibra.

En cualquier caso, los niveles de concentración del ión sulfato son excesivamente elevados en los baños residuales de tratamiento. Superan en gran medida el valor límite de 2000 mg/l que se indicaba como referencia límite de vertido en el Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup>, así como en la tabla de máxima tolerancia que la Agència Catalana de Aigua señala como referencia para el vertido en cauce público <sup>(62)</sup>.

#### 6.3.4.2.10. pH

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.40.

Como se puede observar en la tabla, el pH de los baños iniciales y de los baños residuales del tratamiento con el producto de acabado presenta valores muy similares, un poco superiores a 5.

Muestra	pH
Inicial (Tinofast CEL 2%)	5,26
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	5,29
Baño residual Algodón	5,74
Baño residual Modal	5,19
Baño residual Modal Sun	5,26

Tabla 6.40. pH

Los valores límites de pH en el vertido, según el Reglamento del Dominio Público Hidráulico <sup>(66)</sup> y la “Agencia Catalana de Aigua” <sup>(62)</sup>, serían entre 5,5 y 9,5. Únicamente el pH baño residual del tratamiento de los tejidos de Algodón estaría dentro de este intervalo, aunque los valores obtenidos para los baños residuales de tratamiento de Modal y Modal Sun no se alejan mucho de los valores indicados en dicho reglamento.

#### 6.3.4.2.11. Conductividad

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 6.41.

Muestra	Conductividad (mS)	Desviación estándar
Inicial (Tinofast CEL 2%)	0,24	0,0007
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	16,73	0,03
Baño residual Algodón	17,09	0,01
Baño residual Modal	17,38	0,04
Baño residual Modal Sun	18,19	0,007

Tabla 6.41. Conductividad



Los resultados muestran el gran aumento que sufre la conductividad del baño inicial de tratamiento cuando se añade la sal. El baño inicial únicamente con el producto de acabado presenta una conductividad muy baja. Pero al añadir el sulfato de sodio, sustancia iónica disuelta, el valor de la conductividad del agua aumenta.

Los valores de conductividad de los baños residuales de tratamiento presentan valores excesivamente elevados, muy similares entre sí y también parecidos al valor obtenido para el baño inicial de tratamiento con el producto de acabado y la sal.

### 6.3.4.2.12. Biodegradación

En la Figura 6.32 se muestran las gráficas de biodegradación en % en función de los días de realización del ensayo para cada una de las muestras de baño inicial y residual, así como para la muestra de control.

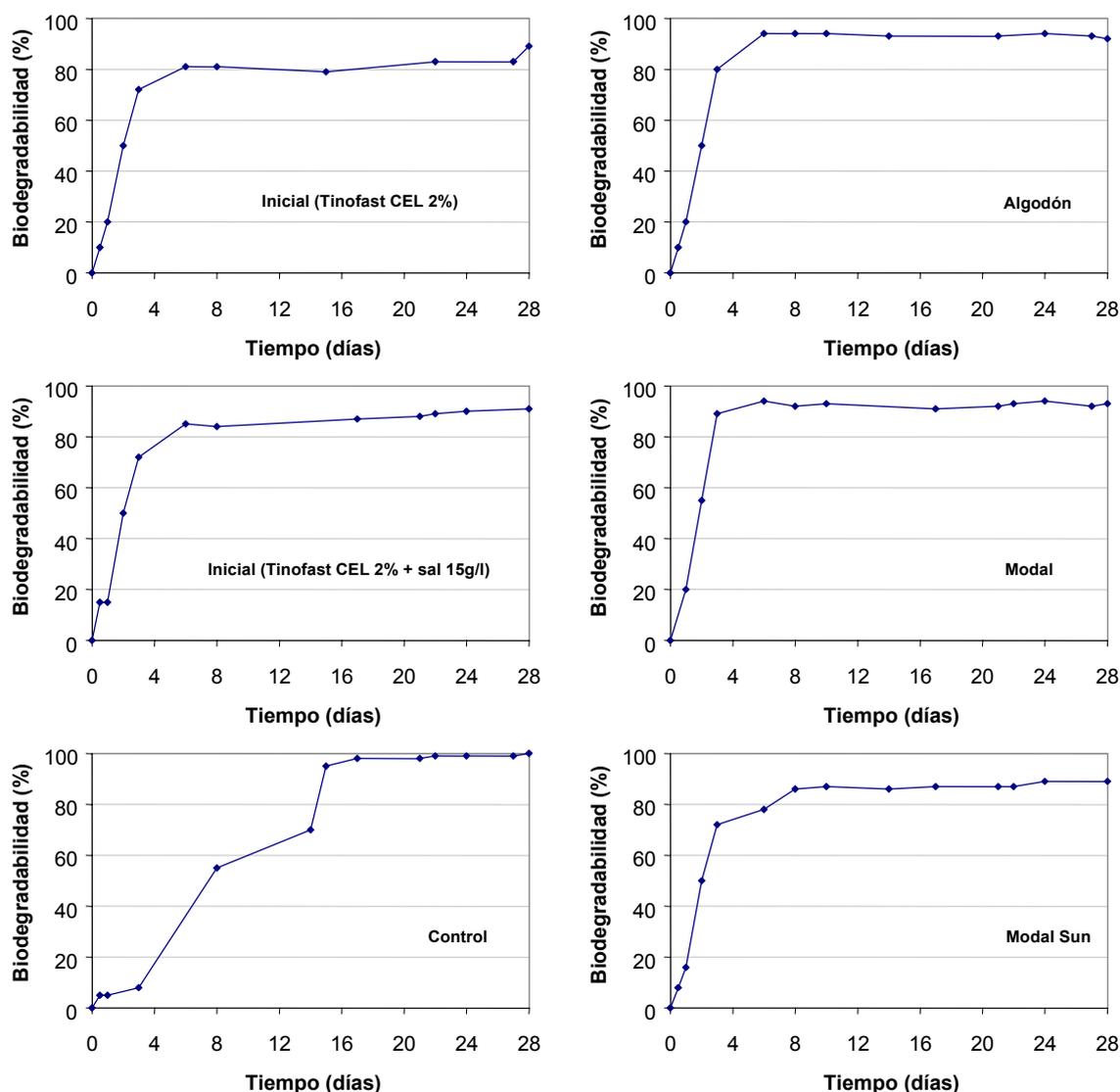


Figura 6.32. Biodegradación en función del tiempo de ensayo



Los resultados finales obtenidos en el ensayo de biodegradación se muestran en la Tabla 6.42.

Muestra	Biodegradación a los 28 días (%)
Inicial (Tinofast CEL 2%)	89
Inicial (Tinofast CEL 2%+Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 15 g/l)	91
Baño residual Algodón	92
Baño residual Modal	93
Baño residual Modal Sun	89
Control (dietilenglicol)	100

Tabla 6.42. Biodegradación

Como se puede apreciar en la tabla todos los baños, tanto iniciales como residuales, obtienen valores de biodegradación muy similares, con niveles que se sitúan alrededor del 90%. Siendo este valor superior al 70%, se puede afirmar que el producto de acabado es suficientemente biodegradable o eliminable en plantas de tratamiento de aguas residuales.



## 6.4. CONCLUSIONES

La utilización del producto de acabado específico en el tratamiento de los tejidos, puede ser un medio que incremente la protección proporcionada por los tejidos contra la radiación ultravioleta.

- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye al aplicar el producto de acabado sobre cualquiera de los tipos de fibras estudiados.
- La forma de los espectros de transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos tratados viene determinada por la combinación de los espectros de transmisión de la fibra y de absorción del producto de acabado.
  - El máximo de absorción de radiación ultravioleta de la disolución del producto de acabado, dentro de la zona que tiene efecto sobre el UPF, se sitúa en las longitudes de onda más bajas del UVB, alrededor de 290 nm, y la absorbancia va disminuyendo a medida que aumenta la longitud de onda de la radiación.
  - La aplicación del producto de acabado sobre los tejidos de Algodón y Modal hace disminuir la transmitancia propia del tejido en mayor grado en la zona del UVB y en las longitudes de onda bajas del UVA. En los tejidos de Modal Sun, ya de por sí con una curva de transmitancia muy plana en las anteriores zonas, la diferencia entre las curvas de los tejidos tratados y no tratados es menor y más apreciable en la zona de longitudes de onda altas del UVA. Incluso el tejido de UPF inicial bajo y tratado con el producto de acabado al 1% s.p.f. presenta una mayor transmisión que el tejido no tratado hasta aproximadamente 360 nm de longitud de onda.
  - Las curvas de transmisión de todos los tejidos tratados presentan una forma similar, prácticamente plana en el UVB y hasta 350 – 360 nm en la zona UVA, aumentando progresivamente a partir de esta longitud de onda y hasta la zona del visible.
- La transmisión difusa de radiación ultravioleta a través de los tejidos disminuye, en general, cuando aumenta la concentración del producto aplicado. Al disminuir la transmisión, el factor de protección a la radiación ultravioleta UPF aumenta al incrementarse la concentración del producto de acabado.
- La aplicación del producto de acabado en los tejidos de Algodón, de Modal o de Modal Sun, permite la obtención de tejidos ligeros para su uso en prendas de verano que pueden proporcionar niveles de buena protección ( $15 < \text{UPF} < 24$ ), muy buena protección ( $25 < \text{UPF} < 39$ ) y protección excelente ( $\text{UPF} > 40$ ).
- El nivel de protección alcanzado, sin embargo, depende de todas las variables que se han considerado en el estudio: del tipo de fibra utilizado, de la concentración del producto de acabado y del UPF inicial del tejido antes del tratamiento (de la estructura



del tejido antes del tratamiento). Para obtener tejidos protectores, será necesario combinar valores mínimos de estas variables:

- Cuando se utilizan tejidos con el UPF inicial más bajo de cada serie, el aumento de la protección contra la radiación ultravioleta que se consigue mediante el uso del producto de acabado es limitado. Los tejidos iniciales no protectores pueden alcanzar un nivel de buena protección con la aplicación del producto a partir de una concentración del 2% en el caso de Algodón y Modal y del 3% en el caso de Modal Sun. Un aumento de la concentración del producto por encima de estos valores no produce una mejora significativa de la protección proporcionada por los tejidos tratados.
- El tratamiento con el producto de acabado de los tejidos con UPF iniciales medios y altos permite la obtención de tejidos con nivel de excelente protección, utilizando la concentración más baja, 1% s.p.f.
- Mediante el análisis estadístico de los datos obtenidos, se ha podido obtener un modelo para cada tipo de fibra estudiado que cuantifica el UPF en función de los parámetros que intervienen en el estudio de la influencia del tratamiento con productos de acabado: concentración del producto y el UPF inicial de los tejidos.
  - Los modelos estimados para cada una de las fibras estudiadas han obtenido una  $R^2$  de valor muy elevado para los tejidos de Algodón (99,9%) y Modal (99,9%) y algo menor (97,8%) en el modelo para Modal Sun.
  - Los modelos demuestran que, para todos los tipos de fibras, el tratamiento de los tejidos con el producto de acabado tiene influencia sobre el factor de protección a la radiación ultravioleta proporcionado por los mismos, produciendo un incremento en el valor del UPF.
  - El mayor número de términos significativos positivos y los, en general, mayores coeficientes positivos en el modelo indican que la influencia del tratamiento con el producto de acabado es más notable en los tejidos de Algodón, y algo menor en los tejidos de Modal. El tratamiento de acabado es menos efectivo cuando se aplica sobre los tejidos de Modal Sun.
  - En el tratamiento de los tejidos de Algodón con el producto de acabado, la variable que tiene más influencia para la mejora del UPF de los tejidos es el UPF inicial del mismo, es decir, la estructura del tejido original. Esta variable, en los términos en que no interviene la interacción con la otra variable, ha obtenido siempre coeficientes positivos y de valor más elevado. También para los tejidos de Modal y Modal Sun, la variable UPF inicial de los tejidos presenta una gran influencia con coeficientes positivos mayores. Asimismo, los coeficientes negativos de esta



variable son mayores, aunque de valor absoluto más pequeño que en los coeficientes positivos.

- El incremento causado por el aumento de la variable UPF inicial del tejido sigue una relación no lineal.
- En los tejidos de Algodón sigue una tendencia ligeramente parabólica, de forma que el mismo incremento en el UPF inicial, provocará incrementos en el UPF cada vez mayores al aumentar el valor de esta variable.
- En los tejidos de Modal y Modal Sun, la tendencia es también ligeramente parabólica pero un incremento en el valor de la variable produce mayores cambios en el UPF para concentraciones bajas, y cambios menores cuando la concentración va creciendo.
- Para todos los tipos de fibras, el aumento de la concentración del producto producirá un incremento en el UPF del tejido.
  - El incremento causado por la concentración del producto de acabado no es lineal.
  - En los tejidos de Algodón, Modal y Modal Sun sigue una tendencia notablemente parabólica, de forma que un incremento en el valor de la variable produce mayores cambios en el UPF para concentraciones bajas, y cambios cada vez menores a medida que la concentración es más elevada. Es decir, se observa una tendencia a la saturación, a llegar a un punto a partir del cual un aumento de la concentración no producirá una variación significativa en el valor de la respuesta UPF. Este comportamiento se hace más evidente cuando el UPF inicial de los tejidos es alto.
- La interacción de las dos variables, UPF inicial del tejido y concentración del producto de acabado, contribuye en gran medida en el valor de la respuesta UPF.
  - Para tejidos con UPF inicial bajo, el tratamiento con el producto de acabado proporciona muy pequeños incrementos en el UPF final en función de la concentración. 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 la protección que los tejidos proporcionan contra la radiación ultravioleta.
  - De igual forma, para concentraciones bajas del producto de acabado 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 el UPF del tejido.

- A efectos prácticos, el incremento en la protección de los tejidos producido por la concentración del producto de acabado depende notablemente del valor del UPF inicial del tejido antes del tratamiento y, por lo tanto, de la estructura del tejido original. La mejora del UPF proporcionada por el tratamiento es poco notoria cuando la estructura del tejido original es más abierta y se va haciendo cada vez mayor a medida que se aumenta la compacidad del tejido original. Así, se necesitará tanto un UPF inicial mínimo como una concentración mínima del producto de acabado para que los tejidos proporcionen un determinado nivel de protección.
- Los modelos obtenidos permiten estimar el UPF a priori según las variables del sistema, aunque siempre dentro del rango experimental, es decir, con valores de las variables entre los niveles mínimo y máximo que se han utilizado para hallar el modelo. Los modelos también permiten el ajuste de las variables, con numerosas posibilidades de distintas combinaciones, para obtener un UPF determinado.
- En la observación mediante microscopio electrónico de barrido 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 producto de acabado haya causado modificaciones importantes en la superficie de la fibra, ni que se haya fijado a la fibra mediante deposición formando una capa sobre la superficie de la misma.
- Un aspecto a tener en cuenta en cualquier acabado funcional es que el efecto producido permanezca durante la vida útil del tejido. La permanencia del producto de acabado absorbente de radiación ultravioleta ha resultado diferente en función del tipo de fibra sobre el que se ha aplicado.
  - El producto de acabado es permanente a los lavados repetidos y a la exposición a la luz artificial, cuando se ha aplicado sobre los tejidos de Algodón. Se producen ligeras variaciones en el UPF de la prenda que podrían ser imputadas a la variabilidad experimental tanto como a la degradación del acabado. Las pequeñas variaciones no afectan a la clasificación según el nivel de protección de los tejidos.
  - El acabado no se ha mostrado permanente al lavado cuando se aplica sobre los tejidos de Modal. El producto no es sólido a los lavados repetidos, provocando una pérdida progresiva de eficacia durante la vida útil de la prenda, de forma que no se puede garantizar el nivel de protección contra la radiación ultravioleta inicial. También se producen pequeñas pérdidas de eficacia como consecuencia de la acción de la luz artificial, aunque de menor importancia ya que no llegan a afectar al



nivel de protección de los tejidos y podrían ser atribuidas asimismo a la variabilidad experimental.

- Cuando se aplica sobre los tejidos de Modal Sun, la permanencia del efecto de acabado no se ve afectada por los procesos de lavado ni por la exposición a la luz durante la vida útil del tejido. Tras ser sometidos al ensayo de lavados repetidos, se produce un aumento bastante importante de la protección tras el primer lavado de los tejidos que se mantiene al aumentar el número de lavados. En el ensayo de permanencia a la acción de la luz artificial se han observado pequeñas variaciones que pueden provocar algún cambio en la clasificación de los tejidos. Sin embargo, es difícil asegurar que dicha variación sea debida a una degradación del acabado por la acción de la luz y no a la variabilidad experimental, ya que los valores de UPF son muy cercanos a 15, es decir, muy cercanos al límite en el que cambia la clasificación en función del nivel de protección.
- La evaluación de varios parámetros ecotoxicológicos en las aguas residuales del tratamiento de acabado ha conducido a las siguientes conclusiones.
  - La toxicidad de los baños iniciales de tratamiento es alta. Sin embargo, se produce un consumo del producto de acabado durante el tratamiento de forma que los baños residuales son ligeramente tóxicos. La toxicidad del baño de tratamiento de los tejidos de Algodón es algo mayor que la de los baños de tratamiento de Modal y Modal Sun que, a su vez, son muy similares entre sí. Si se toman como referencia los límites de la Agència Catalana de Aigua para el vertido en cauce público, 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.
  - La Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Biológica de Oxígeno, tanto de los baños iniciales de tratamiento como de los residuales, es excesivamente alta. No se han encontrado diferencias significativas entre los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> correspondientes a los distintos baños residuales del tratamiento de Algodón, Modal y Modal Sun, por lo que no se puede apreciar diferencias en este parámetro debidas al tratamiento de las diferentes fibras.
  - Los valores de AOX de los baños iniciales de tratamiento son elevados. Después del tratamiento, los valores disminuyen. El baño residual de tratamiento de los tejidos de Algodón presenta una menor concentración de compuestos orgánicos halogenados adsorbibles, mientras que los baños residuales de tratamiento de los tejidos de Modal y Modal Sun tienen valores algo más elevados y muy similares entre sí. En el caso del baño de tratamiento de los tejidos de Modal se superan ligeramente el valor de 2,5 mg/l que la Agència Catalana de l'Aigua señala como límite de referencia de máxima tolerancia para vertido a cauce



público. Todos los baños residuales superan el límite de referencia de tolerancia media, de valor 0,5 mg/l.

- Los valores de Carbono Orgánico Total (TOC) son excesivamente elevados, tanto en los baños iniciales como en los residuales, aunque después de realizar el tratamiento el valor del TOC disminuye. Los valores obtenidos en los baños residuales de las fibras no son muy diferentes entre sí.
- El contenido de materias en suspensión (MES) aumenta significativamente después del tratamiento con el producto de acabado, seguramente debido al desprendimiento de partículas presentes en los tejidos, pero sin alcanzar valores excesivamente altos. El baño de tratamiento de los tejidos de Algodón presenta un MES algo menor que el de los baños de tratamiento de Modal y Modal Sun que, a su vez, son muy similares entre sí. Ninguno de ellos supera el límite de máxima tolerancia, pero sí el de tolerancia media.
- La concentración de cloruros en el baño residual de tratamiento de los tejidos de Algodón es muy similar a la del baño inicial de tratamiento, mientras que este parámetro aumenta en los baños residuales de Modal y Modal Sun. La mayor concentración se ha producido en el tratamiento de los tejidos de Modal. En ningún caso los valores obtenidos alcanzan niveles no aceptables.
- La concentración de fosfatos en el baño residual de tratamiento del tejido de Modal es la que obtiene valores más parecidos a los del baño inicial, seguido por el baño residual de tratamiento del tejido de Modal Sun. En el baño residual de tratamiento del tejido de Algodón, la concentración de fosfatos es sensiblemente superior. En todos los casos, el contenido de fosfatos es muy bajo.
- La concentración del ión sulfato en los baños residuales es excesivamente elevada, como consecuencia de la adición de sal en el tratamiento. En los valores de este parámetro no se producen diferencias debidas al tipo de fibra.
- El pH de casi todos los baños, iniciales y residuales, es ligeramente más ácido de lo permitido para el vertido de las aguas residuales, aunque los valores no se alejan mucho de los límites.
- Los valores de conductividad de los baños residuales son excesivamente elevados debido a la adición de sal durante el tratamiento. En los valores de este parámetro no se producen diferencias debidas al tipo de fibra.
- Todos los baños, iniciales y residuales, presentan valores de biodegradación muy similares, en torno al 90%. Este valor indica que el producto de acabado es suficientemente biodegradable o eliminable en plantas de tratamiento de aguas residuales, al ser superior al 70%.

