

GREENPEACE

El tratamiento de textiles y sus repercusiones ambientales

Junio 2005

GREENPEACE

El tratamiento de textiles y sus repercusiones ambientales

Walters, A., Santillo, D. & Johnston, P.

Laboratorio de Investigación de Greenpeace,
Departamento de Ciencias Biológicas,
Universidad de Exeter, Exeter EX4 4PS
Reino Unido

Junio de 2005

Nota Técnica: 08/2005

Traducción: Andrés Krakenberger

Contenido

Resumen	4
1 Introducción.....	5
2 Preparación de las fibras.....	7
2.1 Hilado	8
2.2 Tejeduría.....	8
2.3 Impacto medioambiental del hilado y de la tejeduría.....	10
3 Tratamientos previos.....	11
3.1 Gaseado.....	11
3.2 Desencolado	11
3.2.1 Retirada del encolado insoluble en agua.....	12
3.2.3 Retirada del encolado soluble en agua.....	12
3.2.4 Consideraciones medioambientales.....	12
3.4 Desengrasado.....	12
3.5 Mercerización.....	13
3.6 Carbonización.....	13
3.7 Blanqueo.....	13
3.7.1 Blanqueo oxidante.....	13
3.7.2 Blanqueo reductor	14
3.8 Blanqueo óptico.....	15
4 Tintura y estampación.....	16
4.1 Colorantes reactivos.....	16
4.2 Colorantes directos.....	16
4.3 Colorantes tina	17
4.4 Colorantes sulfurosos.....	18
4.5 Colorantes azoicos.....	18
4.6 Tintado de lana.....	18
4.7 Colorantes ácidos.....	19
4.8 Colorantes (mordientes) con cromo.....	19
4.9 Colorantes premetalizados.....	20
4.10 Colorantes dispersos – Tintado del poliéster	20
4.11 Tintado del nylon.....	21
4.12 Tintado de acrílicos	21
4.13 Estampación.....	21
4.14 Colorantes derivados de la naturaleza.....	22
4.15 Colorantes y pigmentos tóxicos	22
4.15.1 Carcinogenicidad y mutagenicidad.....	23
4.15.2 Dermatitis por contacto.....	23
4.15.3 Contenido de metales pesados.....	24
5 Acabados.....	24
5.1 Acabados de fácil cuidado.....	24
5.2 Acabados hidrófobos.....	25
5.3 Retardantes de llama.....	25
5.4 Bactericidas y fungicidas.....	26
6 Conclusiones.....	27
7 Referencias	28

Resumen

Este informe presenta una visión general de la industria de tratamiento de textiles, con especial atención a las principales fuentes de contaminación medioambiental. El informe se centra principalmente en el acabado de los textiles, identificando las sustancias químicas que probablemente tengan que ser sustituidas cuando entre en vigor la futura legislación REACH (*Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals* – Registro, Evaluación y Autorización de Sustancias Químicas, o sea el marco regulador de esta materia de la Unión Europea).

La industria textil sigue unas pautas de consumo de sustancias químicas sumamente complejas y adolece de un acceso insuficiente a la información. La mayor parte de las iniciativas realizadas para reducir su impacto medioambiental han consistido en el diseño de nuevos procesos más que en la sustitución de sustancias químicas tóxicas por alternativas más seguras. Sin embargo, sustituir estas sustancias es importante debido a que a pesar de que pueden ser sustancias de baja toxicidad su uso es masivo y por tanto estamos expuestos a altas dosis.

La mayor parte del impacto medioambiental de estas industrias se produce durante los procesos de fabricación. El contenido total de sustancias de alto riesgo en prendas acabadas es limitado y depende específicamente de las técnicas de tintado y de tratamiento que se hayan utilizado en cada caso.

1 Introducción

Este informe hace un recorrido general por la industria de tratamiento de textiles poniendo de relieve las principales fuentes de contaminación medioambiental.

El objetivo de la investigación consiste en identificar las fases de la producción más preocupantes en cuanto al uso y emisión de sustancias químicas peligrosas, prestando especial atención a las sustancias químicas que puedan aparecer en prendas acabadas y a aquellas sustancias que se verán afectadas al amparo del borrador de la legislación REACH. Por este motivo, queda fuera todo lo relativo a la producción de fibras. Entre las principales causas de preocupación en materia medioambiental destaca el uso de pesticidas o defoliantes en el algodón, los ectoparasitocidas en ganado ovino y las emisiones de sustancias tóxicas en las prácticas industriales de procesamiento de las fibras naturales y sintéticas (Bunke *et al* 2003).

Gran parte de la investigación científica dirigida a convertir en ecológicamente correcta la producción de textiles ha centrado su atención en las tecnologías de procesos finales, como el uso de la ozonación o del método Fenton de oxidación avanzada, para “limpiar” los efluentes de las fábricas de tintes. Aunque estos enfoques pueden ocasionar una reducción en las emisiones tóxicas al medio ambiente, difícilmente se pueden considerar parte de un concepto ecológico de la química, porque no incide en la no producción de sustancias tóxicas, por lo que tampoco son objeto de atención en el presente informe.

La integración de procesos ha cosechado éxitos tanto en lo relativo a la reducción del consumo de sustancias químicas como del consumo energético. Fases del proceso que antes estaban separadas, ahora se han combinado o se realizan en el mismo depósito. Este tipo de enfoque es primordial en las recomendaciones de Prevención y Control Integrados de la Contaminación de la Unión Europea (IPPC) a la industria (IPPC 2003).

La industria textil en Europa se compone en su mayor parte de pequeñas y medianas empresas (PYMES), cada una de las cuales se concentra en un número limitado de procesos. La industria se ha visto muy afectada por la globalización y por procesos de modernización, lo que ha ocasionado una reducción de plantillas de más del 40% entre 1980 y 1995 (Stengg 2001). La importación también ha aumentado de forma considerable, desde el 12% en 1990 al 23% en 1999 para los textiles, y del 30% en 1990 al 46% en 1999 para el vestido (Stengg 2001). El sector está preocupado con la posibilidad de que la firma del Acuerdo de la OMC sobre Textiles y Vestido, prevista para este año, incremente las importaciones y aumente aún más la presión sobre los productores nacionales.

Sustancias	Carga medioambiental (t/año)
Sales	200000-250000
Impurezas de fibras naturales (incluidos biocidas) y otras materias relacionadas	50000-100000
Agentes de encolado	80000-100000
Agentes de preparación (principalmente aceites minerales, también aceites éster)	25000-30000
Surfactantes	20000-25000
Ácidos carboxílicos (principalmente acéticos)	15000-20000
Espesantes	10000-15000
Urea	5000-10000
Complejantes	<5000

Tabla 1 Cargas medioambientales de la industria textil de la UE

Fuente: IPPC 2003 Datos extrapolados de estudios realizados en Alemania y Austria

Gran parte del impacto medioambiental de estas industrias procede de importantes emanaciones de sustancias de baja toxicidad, como las sales (tabla 1). La industria cuenta con unas pautas de consumo de sustancias químicas extremadamente complejas y adolece de un acceso insuficiente a la información. Son muchas las empresas de acabado que importan hilos pre-tratados, a menudo sin información sobre las sustancias que les han aplicado. El Artículo 6 de REACH (obligación general de registrar las sustancias que contengan los artículos) tendrá consecuencias al respecto, aunque puede que no afecte a las sustancias presentes en concentraciones bajas. Está muy extendido el uso de productos pre-formulados y los usuarios no reciben un listado de su contenido. Un minorista del Reino Unido nos proporciona un ejemplo. Retirar los alquilfenoles etoxilados de los productos implica mucho papeleo y obligaría a los encargados del acabado de los textiles a buscar activamente información de los fabricantes. En un clima como éste de falta de acceso a la información, resulta especialmente difícil que un investigador ajeno a la industria consiga verdaderamente comprender la magnitud de los niveles de consumo. Muchos asesores gubernamentales y autores que han publicado trabajos en este campo se han visto casi siempre obligados a depender de la literatura existente. Los autores independientes han visto que la industria no suele prodigarse a la hora de dar información, si bien no está claro si es por confidencialidad (sea cual sea el motivo) o por falta de información.

Este estudio ha sido elaborado utilizando información procedente de toda una gama de fuentes. Se puede entrever una visión general de la industria en el documento de IPPC sobre las Mejores Técnicas Disponibles publicado en 2003. También se ha buscado documentación en textos y revistas científicas y asesoramiento industrial, académico e independiente.

En cuanto a su estructura, el informe hace un seguimiento de los textiles desde la fibra hasta la tela, destacando las preocupaciones medioambientales según se van planteando. También se ha incluido información sobre posibles alternativas con el fin de presentar una imagen más completa del estado de la investigación.

2 Preparación de las fibras

Las fibras naturales crudas deben limpiarse antes de entrar en la cadena de producción de telas. El proceso es más intenso en el caso de la lana. La lana cruda puede contener entre 20% y 40% de impurezas en forma de grasa de lana (lanolina), suarda, polvo y una carga significativa de pesticidas (IPPC 2003). Para eliminar estas impurezas se desengrasa la lana en un proceso que consume mucha energía y que requiere grandes cantidades de agua caliente cargada de detergentes no iónicos (concretamente alcoholes etoxilados y alquilfenoles etoxilados) y aditivos (sales inorgánicas) que emulsionen la grasa de la lana.

Se puede recuperar hasta la mitad de la lanolina que se ha apartado de la fibra para su uso como materia prima industrial por la industria cosmética, debido principalmente a sus propiedades emolientes. La lanolina contiene altos niveles de pesticidas que deben ser extraídos por disolventes. En el Reino Unido se ha trabajado en la posibilidad de compostaje de la lanolina de desecho. Esto resulta preocupante porque significa reintroducir los pesticidas en el medio ambiente.

El documento IPPC sobre las Mejores Técnicas Disponibles en la industria textil recomienda el uso de una técnica de desengrase de lanas basada en disolventes orgánicos (el proceso Wooltech). Este proceso es similar a la limpieza en seco. Se utiliza un disolvente para extraer las impurezas, que son recogidas mediante la evaporación del disolvente en un depósito de recogida. El proceso cuenta con significativas ventajas debido a la baja capacidad calorífica específica del disolvente. Las técnicas de desengrasado basadas en agua emplean entre 10 y 15 litros de agua por kilogramo de lana grasienta procesada, agua que debe ser calentada. La lana debe ser luego secada – lo que requiere cantidades de energía mucho mayores. El sistema de disolvente orgánico también permite una completa recuperación del polvo y de la grasa extraídos, por lo que se previene la existencia de una fuente de agua con una fuerte carga de desechos. Sin embargo, el disolvente utilizado en el proceso Wooltech es el tricloroetileno.

El tricloroetileno ha sido clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) como perteneciente al Grupo 2A (probablemente cancerígeno para los seres humanos) (IARC 1995). Es más, se observó un riesgo elevado de cáncer de hígado y del tracto biliar y un riesgo levemente elevado de contraer el linfoma no Hodgkin. Se ha demostrado que el tricloroetileno indujo tumores de hígado y de pulmón en varias muestras de ratones (Fisher & Allen 1993, OMS 1993). La valoración de riesgos elaborada por la Oficina Europea de Sustancias Químicas con respecto al tricloroetileno (UE 2004) estipulaba que: “Por lo que respecta a la carcinogenicidad y mutagenicidad, no existe un umbral identificable de exposición bajo el cual no se expresarían estos efectos, por lo que existen preocupaciones por la salud en todos los niveles de exposición”.

El documento sobre las Mejores Técnicas Disponibles para la industria textil (IPPC 2003) reconoce que el tricloroetileno es persistente y nocivo y que es responsable de la mitad del disolvente utilizado como “pérdidas no capturadas” y a pesar de eso recomienda esta técnica. El documento estipula que hay una única planta en la Unión Europea que desengrasa con tricloroetileno y que está ubicada en Trieste, Italia. Resultó imposible confirmarlo.

La seda y el algodón suelen ser fibras mucho más limpias y sólo requieren un proceso en seco para extraer partículas de polvo. La producción de fibras sintéticas, al igual que en todos los procesos de producción de polímeros industriales, implica el uso de cierta cantidad de reactivos lo que plantea toda una gama de preocupaciones medioambientales. Tal y como se ha mencionado con anterioridad, la valoración de todo ello se encuentra fuera del ámbito del presente estudio, aunque sí se trata la emisión de trióxido de antimonio.

2.1 Hilado

Durante el hilado, las fibras se someten a diversos procesos mecánicos que las peinan, alinean e hilan para producir un hilo. En algunos casos se entrelazan dos o más hilos para producir un hilo retorcido. Se utilizan también materias químicas auxiliares como lubricantes que permiten un procesamiento de alta velocidad.

Tradicionalmente se utilizaban aceites minerales, lo cual era una fuente de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs). Los PAHs son contaminantes comunes tanto en entornos terrestres como acuáticos y pueden causar una amplia gama de efectos tóxicos. Algunos de ellos son conocidos agentes cancerígenos para los seres humanos, según la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades de la administración de Estados Unidos (ATSDR, 1997). En la actualidad, la mayoría ha sido sustituido por aceites sintéticos (aceites de silicona, poliglicéridos) y aceites éster (ésteres de ácidos grasos) (IPPC 2003). Estos aceites obtienen mayor rendimiento y cuentan con propiedades más uniformes. Pero como los aceites se aplican como preparaciones acuosas y no suelen disolverse en agua, es preciso utilizar emulgentes. En general se trata de surfactantes no iónicos como los alcoholes etoxilados (AEOs) y los alquifenoles etoxilados (APEOs). Los preparados acuosos deben protegerse de la degradación durante su almacenaje por lo que se les suelen añadir conservantes como bactericidas o fungicidas. Tal y como veremos más adelante, estos agentes suelen encontrarse en los efluentes de las plantas de tratamiento.

Los aceites sintéticos no contienen los mismos niveles de impurezas (metales, PAHs, etc) que los aceites minerales y algunos de ellos son biodegradables. Los aceites éster también son biodegradables y son más fáciles de emulsionar que los aceites minerales (y por ello se necesita una carga menor de surfactantes).

En el hilado de las fibras sintéticas predominan los aceites de silicona, que representan hasta el 7% del peso del hilo. Aunque se trata de agentes no tóxicos y son bio-eliminables (IPPC 2003) su emulsión es difícil por lo que requieren grandes cantidades de surfactantes.

2.2 Tejeduría

En el proceso de tejeduría se entrelazan dos o más sistemas de hilo perpendiculares. En el telar, los hilos de trama se tejen entre hilos de urdimbre tensos y paralelos (*calada*). Los hilos de urdimbre son sometidos a tensión durante la tejeduría mientras se introduce el hilo de trama entre los mismos a gran velocidad.

Con el fin de reducir el daño ocasionado por los múltiples contactos abrasivos, la calada debe someterse a una preparación química, el encolado, que se aplica a los hilos de urdimbre antes de colocarlos en el telar. El encolado forma una película que hace que el hilo resulte más deslizante, más suave y más fuerte. De esta manera se reduce la fricción, el número de cabos libres de fibras que pueden interferir en el proceso de tejeduría y el número de roturas de los hilos de urdimbre.

De tipo polisacárido	Completamente Sintéticos
• Almidón	• Alcohol polivinílico
• Derivados del almidón	• Poliacrílatos
• Derivados de la celulosa	• Polivinil acetato
• Galactomananos	• Poliéster

Figura 1: Tipos de encolado (Fuente: IPPC 2003)

Los preparados de encolado son, a grandes rasgos, de dos tipos; los naturales y los sintéticos (Figura 1). Según la Agencia Federal del Medioambiente alemana, los encolados naturales (entre los que predomina el almidón) siguen siendo los más utilizados (UBA 2003). Según la Asociación de Profesionales de Desarrollo y Medio Ambiente (DEPA), la fuente del almidón varía geográficamente. En Europa, tanto los almidones puros como los modificados proceden de la patata, mientras que en EE.UU. se utiliza el almidón del maíz. En Asia los almidones proceden del arroz, del saguero, del maíz y de la tapioca (DEPA 1997). El almidón recibe cada vez más tratamientos químicos para producir derivados despolimerizados, como la celulosa carboximetil (CMC). Esto mejora su rendimiento y lo vuelve soluble en agua (y por tanto reciclable).

Fibra	Carga(g/kg hilo)	Encolado utilizado
Algodón/algodón -poliéster	80-200	Almidón / derivados del almidón a menudo en combinación con otras sustancias
Poliéster	40-60	Principalmente poliéster y también pequeñas cantidades de PVA
Nylon	20-50	Se utiliza el ácido poliacrílico
Viscosa	40-120	Se utilizan todo tipo de combinaciones

Tabla 2 Cargas de encolados de distintas fibras (IPPC 2003)

Los hilos de urdimbre suelen representar el 60% de la tela, por lo que los agentes de encolado son una sustancia auxiliar de uso relevante. Tal y como se puede comprobar más arriba (Tabla 2), el algodón es la fibra con más encolado, con cargas de hasta 200 g/kg aplicadas sobre la urdimbre. Esto se debe a que se suele usar almidón o derivados del mismo, por lo que las cargas son significativamente mayores que en el caso de los encolados sintéticos.

Hay una gama de agentes adicionales que suelen estar presentes en la mayoría de los preparados de encolado para el algodón (IPPC 2003). Entre estos están:

- **Reguladores de viscosidad** - agentes que interactúan con el almidón para alterar sus propiedades físicas. Por ejemplo, el bórax (borato sódico) incrementa la viscosidad formando un complejo con el almidón (adhiriéndose al mismo). También se pueden utilizar peroxisulfatos para partir químicamente la macro-molécula del almidón, reduciendo así la viscosidad.
- **Agentes antiestáticos** - se pueden utilizar ésteres de ácido fosfórico, pero son solubles en agua y difíciles de degradar por lo que pasan por los sistemas ordinarios de desagüe sin degradarse.
- **Agentes humectantes** - mejoran la penetración del encolado en el hilo.
- **Agentes antiespumantes** – si se utiliza el encolado por PVA es necesario añadir un agente para impedir la formación de espuma. Se suelen utilizar aceites (parafina o silicona) o ésteres de grasas o ácidos.
- **Conservantes** – se suelen añadir para impedir la degradación de los encolados, como los biocidas del almidón.

Los encolados para fibras distintas del algodón no contienen una gama tan extensa de sustancias auxiliares y, por lo general, sólo llevan un conservante (como en el caso de toda preparación acuosa que haya sido almacenada durante periodos de tiempo prolongados). No fue posible determinar el porcentaje en el que habitualmente se encuentran los aditivos del encolado.

Si no se tiñen las prendas, es posible que el envío de las mismas se lleve a cabo sin desencolar. En el caso de prendas como las camisas, es posible que el almidón tenga el efecto deseado. Se ha

demostrado que altos niveles del conservante PCP (pentaclorofenol) en las prendas de algodón ocasionan altos niveles de determinadas dioxinas en las capas exteriores de las pieles de quienes utilizan esas camisas (Horstmann and McLachlan 1994). El PCP se solía utilizar como conservante en los encolados de almidón. En la actualidad su uso en la Unión Europea está regulado por la Directiva de la UE 76/769, aunque se cree que su utilización persiste en otros lugares.

2.3 Impacto medioambiental del hilado y de la tejeduría

Los fabricantes suelen dejar en las prendas las sustancias químicas utilizadas en el hilado y en la tejeduría. Retirar dichas sustancias suele ser tarea de las empresas de acabado como paso previo al teñido ya que una tela con impurezas desembocaría en tintados desiguales y en una absorción defectuosa de los tintes. Por este motivo, trataremos los efectos de los encolados en el sistema de desagües dentro del apartado de tratamientos previos.

La mayor parte de las sustancias utilizadas son relativamente benignas en lo referente a toxicidad directa sobre el medio ambiente. Es la cantidad utilizada de dichas sustancias la que supone una carga medioambiental. No obstante destacan excepciones como los surfactantes no iónicos que se pueden utilizar (alquifenoles etoxilados), el bórax (si bien no se pudo encontrar información sobre la persistencia en el uso de esta sustancia) y los biocidas añadidos a los preparados.

3 Tratamientos previos

Los tratamientos previos se producen inmediatamente antes de la aplicación de tintes o de las labores de imprenta en la cadena de producción textil, ya que preparan la tela para esos procesos. En ese momento las fibras pueden estar en forma de hilo o de tela ya tejida. Los tratamientos previos suelen producirse al mismo tiempo que el tintado, a menudo en la misma máquina (el proceso integrado supone mayor velocidad). Hay diferentes maneras de preparar la tela con tratamientos mecánicos y en mojado:

§ **Retirar materias ajenas a la tela.**

Impurezas naturales presentes en la lana y en el algodón y residuos de producción en fibras no naturales. También hay que retirar los auxiliares de procesos aplicados previamente. Con esto se mejora la uniformidad, la hidrofiliidad y la afinidad de las fibras para los tintes y sustancias auxiliares de acabado.

§ **Mejorar la capacidad de absorción uniforme de los tintes.**

En el caso del algodón, se aplica un tratamiento químico (mercerización) para alterar la cristalinidad de la celulosa.

§ **Relajar las tensiones**

Las fibras sintéticas suelen someterse a tratamientos térmicos para relajar el tensado aplicado en procesos anteriores (Lacasse, Baumann 2004).

§ **Blanquear**

Para permitir ligeras sombras de tintes o producir telas blancas.

La naturaleza y el número de tratamientos previos dependen tanto del tipo de fibra como de los resultados finales deseados. Las fibras naturales suelen contener más impurezas por lo que son sometidas a procesos más intensos.

El tipo de contaminación medioambiental que se produce a consecuencia de estos tratamientos previos depende del orden en que se apliquen los mismos; si el procesamiento térmico precede al húmedo, entonces el gas de evaporación contiene una proporción mayor de las impurezas retiradas y viceversa.

3.1 Gaseado

El gaseado se realiza tanto en los hilos como en las telas. El material se expone a una llama de gas para quemar fibras protuberantes que pueden ocasionar un tintado no uniforme. No se requieren agentes químicos excepto un baño de agua que se utiliza para impedir chispas (en los sistemas integrados suele ser en la cuba de desencolado). El proceso tiene un bajo impacto medioambiental; aunque produce polvo y compuestos orgánicos volátiles (VOC) (UBA 2003).

3.2 Desencolado

En cualquier tela tejida es necesario retirar el encolado completamente antes de aplicar los tintes. El tipo de proceso depende del tipo de encolado que se haya aplicado. Los encolados solubles en agua pueden retirarse sencillamente con un lavado, mientras que el encolado insoluble en agua debe someterse primero a una degradación química o enzimática. Esto impide recuperar el encolado, por

lo que las aguas residuales se someten a una fuerte carga.

3.2.1 Retirada del encolado insoluble en agua

Para retirar el almidón y sus derivados (con la excepción de la carboximetil celulosa) hay que usar agentes que degradan el encolado y lo vuelven soluble en agua. Esto se consigue utilizando enzimas o agentes oxidantes.

Los métodos enzimáticos suelen utilizar amilasas con un surfactante y pequeñas cantidades de complejantes. Se puede conseguir el desencolado de oxidación utilizando peróxido de hidrógeno en presencia de hidróxido sódico, surfactantes y estabilizadores (complejantes). Este método permite un desencolado integrado, con blanqueado y desengrasado, reduciendo así el consumo de sustancias químicas. Sin embargo, las fibras de algodón sólo se diferencian levemente del almidón, por lo que, a menos que las condiciones sean controladas exhaustivamente, las fibras pueden resultar dañadas, lo que no representa un problema en el caso del desencolado enzimático.

3.2.3 Retirada del encolado soluble en agua

Teóricamente, sólo es preciso utilizar agua caliente para retirar los encolados solubles en agua como los polivinil acetatos (PVA) y la celulosa carboximetil (CMC). Sin embargo, este método es más eficaz añadiendo una combinación de surfactantes iónicos y no iónicos. Con esto se impide el reciclado del encolado. Las empresas de tinte no suelen saber qué tipo de encolado se ha aplicado y aplican un licor de oxidación para el desencolado ya que con él se retirará tanto el encolado soluble como el insoluble en agua.

3.2.4 Consideraciones medioambientales

El encolado sintético y el CMC se pueden recuperar del licor de desencolado mediante ultrafiltración y después reciclarse. El encolado de almidón queda degradado durante el desencolado perdiendo sus propiedades adhesivas y formadoras de películas. Por eso no se puede reciclar. Por todo ello, los licores de desencolado pueden suponer hasta el 70% de la carga de DQO (demanda química de oxígeno) de una fábrica de acabado de tejidos.

Debido al problema generalizado de falta de información de la industria textil no se suele saber qué tipo de encolado se ha aplicado. Esto impide una recuperación más generalizada del encolado. Es más, el encolado y el desencolado no suelen producirse en la misma planta, lo que plantea interrogantes sobre si cabe justificar el transporte a larga distancia de grandes cantidades de sustancias químicas, ya que las posibles ventajas medioambientales podrían verse negativamente compensadas. El almidón también procede de una fuente renovable, por lo que no queda claro qué opción resulta más beneficiosa para el medio ambiente.

3.4 Desengrasado

Se deben retirar las impurezas naturales como las ceras, pectinas y proteínas. El algodón en bruto puede contener entre 4 y 12% de estas impurezas por peso (Karapinar y Sariisik 2004). El hidróxido sódico en caliente, el complejante y el surfactante (que actúan como humectantes) son de uso general, aunque existen formas de hacerlo con enzimas (Karapinar y Sariisik 2004). El proceso puede tardar entre seis y doce horas, lo que hace que consuma mucha energía. Tal y como decíamos anteriormente, la lana se puede desengrasar con disolventes orgánicos o soluciones acuosas de detergentes.

En el caso de las fibras sintéticas, se deben retirar los aceites de procesado con detergentes. Para este proceso también existen alternativas basadas en la utilización de enzimas. Los desagües se ven contaminados con una fuerte carga de residuos de la producción de polímeros, como monómeros no reactivos, oligómeros de pequeño peso molecular y catalizadores residuales. Posteriormente trataremos la carga medioambiental resultante.

3.5 Mercerización

La mercerización es un tratamiento específico del algodón. Mejora su resistencia a roturas, su lustre, y la capacidad de absorber tintes. Se utilizan baños con muy altas concentraciones (20- 30%) de hidróxido sódico (UBA 2003). Se pueden reutilizar estos baños o el NaOH recuperado y utilizarlo en otras fases del tratamiento previo (IPPC 2003). Si es precisa una descarga, se neutraliza el álcali, lo que produce la descarga de grandes cantidades de sal.

3.6 Carbonización

Es posible que la lana aún contenga impurezas originadas en fábrica que no pueden retirarse con medios mecánicos. Para eliminar estas impurezas se usa un tratamiento conocido como carbonización. Este proceso, normalmente, se realiza en la planta de desengrasado. Se sumerge la lana en una solución de ácido sulfúrico y luego se somete a calentamiento para concentrar el ácido, tras lo cual se coloca en un horno para carbonizar las impurezas. Después se machacan entre rodillos para facilitar su retirada. Las mezclas de lana y poliéster se tratan con ácido clorídrico en forma de gas (o con algún derivado del mismo), ya que el polímero es sensible al ácido sulfúrico. De esta manera, el HCl supone un riesgo para los sistemas respiratorios de los trabajadores (Stringer y Johnston 2001).

3.7 Blanqueo

El blanqueo se utiliza para destruir impurezas naturales en las fibras cuando se desea un acabado blanco, o si hay que aplicar un tinte claro. Se pueden utilizar dos métodos alternativos para conseguir una tela más blanca. Ambos atacan los compuestos que producen el color, destruyéndolos.

3.7.1 Blanqueo oxidante

Las fibras de celulosa se blanquean casi exclusivamente por métodos oxidativos. El más común, de cloro y peróxido de hidrógeno, se puede utilizar combinado o por separado. Al parecer, no se pueden alcanzar altos grados de blancura mediante la aplicación exclusiva del peróxido de hidrógeno. Sin embargo, este argumento parece estar (al menos) parcialmente fundamentado en consideraciones de índole económica. Hay informes que indican que mediante condiciones cuidadosamente controladas, con H₂O₂ se puede alcanzar un alto grado de blancura (Lacasse y Baumann 2004). Hay indicios de que esta técnica cuesta entre dos y seis veces más que un proceso equivalente con cloro.

El blanqueo con hipoclorito de sodio (NaOCl) se realiza con un pH alcalino. Debido a su alta reactividad, requiere condiciones más suaves que en el caso del peróxido de hidrógeno. A continuación se aplica un tratamiento para anular el cloro con el fin de retirar el exceso de NaOCl.

El blanqueado con hipoclorito de sodio ocasiona una serie de reacciones subsidiarias que provocan la producción de una gama de AOX (halógenos orgánicos absorbibles) entre los que se encuentra el triclorometano (Lacasse y Baumann 2004) y sustancias precursoras de la dioxina (Stringer y Johnston 2001). En Alemania no se permite el blanqueado con hipoclorito (UBA 2003) que ha sido sustituido, en gran medida, en el resto de Europa. No obstante, su uso a escala mundial aún es muy extendido, no sólo para el blanqueado, sino también para la limpieza de máquinas de aplicación de tintes y para blanquear prendas teñidas defectuosamente (Lacasse y Baumann 2004).

Otro agente de cloro alternativo y altamente eficaz es el clorito sódico (NaClO_2), que produce niveles mucho más bajos de AOX que el hipoclorito. El agente blanqueador activo, el gas ClO_2 , es hidrófobo, lo que impide que resulten dañadas las fibras de celulosa. Sin embargo, la sustancia resulta difícil de manipular. El dióxido de cloro es altamente tóxico, ataca el acero inoxidable y es inestable. Aunque los niveles de AOX son más bajos, la sustitución total de blanqueadores de cloro es la única manera de evitar la liberación de sustancias peligrosas (Stringer y Johnston 2001).

El peróxido de hidrógeno es el agente blanqueador más común (IPPC 2003). Es preciso mantener condiciones alcalinas para generar el agente blanqueador activo (el dióxido radical). Es necesario utilizar complejantes para retirar todos los iones metálicos presentes. Éstos catalizan la descomposición del peróxido de hidrógeno, formando radicales hidróxidos que atacan la celulosa. Entre los demás aditivos comunes destacan el silicato sódico, que amortigua el pH y estabiliza el H_2O_2 y las sales de magnesio. También destacan los estabilizadores y surfactantes que actúan como humectantes.

El uso del complejante más habitual, el ácido etilenediaminetetraacético (EDTA), ha sido objeto de preocupación. El EDTA no es tóxico para los mamíferos en concentraciones medioambientales. (Kari 1996) y presenta una baja toxicidad acuática para los peces, aunque las algas resultan algo más afectadas. La mayor preocupación relativa a muchos agentes quelatantes (especialmente el EDTA) es su lenta descomposición en el medio ambiente. Su consecuente persistencia en el medio ambiente (Nowack 2002) ha hecho que siempre exista una concentración de fondo de esa sustancia en las aguas europeas. Su persistencia permite que prosiga el efecto del agente quelatante sobre la química de los iones metálicos fuera de su lugar de aplicación. La quelatación baja la afinidad de los iones de metal en las superficies, lo que permite su paso por los sistemas de aguas residuales, así como una mayor movilidad por los sistemas acuáticos (Bedsworth 1999). La movilización de los iones metálicos de los sedimentos puede desembocar en la contaminación de las aguas subterráneas y del agua potable (Nowack 2002).

Esta cuestión ha recibido distintos niveles de atención en distintas naciones, dependiendo de las bases sobre las que sustentan su política medioambiental. Si bien la persistencia del EDTA ha quedado definitivamente demostrada, las consecuencias toxicológicas resultantes aún no están claras. Alemania, preocupada por los crecientes niveles de EDTA en los ríos, llegó a un acuerdo, no vinculante legalmente, con la industria para reducir a la mitad su consumo durante la década de los noventa. Esto impulsó la búsqueda de alternativas medioambientalmente benignas que contaban con el mismo nivel de rendimiento.

Dos de esas alternativas que se encuentran disponibles actualmente son el etilendiamino disuccinato (EDDS) y el ácido imino disuccínico (IDA). Ambos son estructuralmente muy similares al EDTA aunque se biodegradan con rapidez. El EDDS parece tener un rendimiento algo mejor que el IDA (comercializado como BaypureCX) producido por Bayer (Tandy 2004).

3.7.2 Blanqueo reductor

El blanqueo oxidante no es adecuado para las poliamidas ya que el H_2O_2 ataca el polímero. Por eso

se utilizan tintes reductores con hidrosulfito sódico. Aunque el blanqueo de la lana no es muy común (IPPC 2003) también se utiliza el hidrosulfito sódico en un proceso de dos fases tras la aplicación de H₂O₂ (la lana es sensible a los agentes con cloro). El hidrosulfito sódico es una sustancia química de alto volumen productivo en la UE que es tóxico e irritante (Lewis 2004) si bien no será una sustancia de alto riesgo al amparo de REACH.

3.8 Blanqueo óptico

Se pueden aplicar blanqueadores ópticos tras el blanqueo para ocultar cualquier coloración que persista en la tela (lo que puede, en sí mismo, considerarse otra forma de tinte). Los agentes también son componentes de diversas formulas de detergentes. Históricamente se aplicaban tintes azules para contrarrestar el color amarillo natural del algodón y de la lana. Posteriormente se han desarrollado agentes blanqueadores ópticos que absorben los rayos UV y emiten a longitudes de onda visibles, lo que ha permitido la aparición de telas “más blancas que el blanco”.

Varios de estos agentes se encuentran en las listas de sustancias de alto y bajo volumen de producción por lo que estarán sujetas al REACH. Por ejemplo el Blanqueador Fluorescente C.I. 220 (utilizado en las fibras de celulosa) es una sustancia química de alto volumen de producción. Cabe observar con carácter general que se trata de una sustancia persistente, si bien no se ha demostrado su bioacumulación. Un estudio de la bibliografía existente indicaba que, cuando se detectaba su presencia, dichas sustancias llevaban asociada una toxicidad baja o inexistente. El Instituto Federal de Evaluación de Riesgos alemán realizó una valoración sanitaria de agentes blanqueadores ópticos derivados del estilbeno (BGVV 2002) después de que existiese preocupación por los potenciales riesgos para la salud pública. Se descubrió que había una falta general de información sobre su toxicidad y que es preciso realizar estudios sobre la absorción en la piel y sobre el desprendimiento de tales sustancias en la ropa.

4 Tintura y estampación

Organizado por tipo de tinte, se presenta a continuación una visión general de los métodos de tintado destacando los principales auxiliares químicos utilizados.

4.1 Colorantes reactivos

Un tercio de los colorantes utilizados para la celulosa son reactivos y se utiliza una cantidad cada vez mayor de ellos en la lana y el nylon (IPPC 2003). Los colorantes contienen grupos químicos que se unen por enlace covalente a la tela. En el caso de la celulosa, se trata de grupos que son típicamente de pirimidina, triazina o de sulfonas y que experimentan una reacción con los grupos de hidroxilo de la celulosa por sustitución o por adición nucleofílica.

El tintado del algodón se realiza con un pH de entre 9,5 y 11 (IPPC 2003), pH que se consigue con NaCO_3 y/o NaOH . Hasta un 40% (Blackburn 2002) del colorante puede ser hidrolizado con agua, lo que lo vuelve inerte. Esto desemboca en la presencia de colorantes reaccionados (inertes) en las aguas residuales que son difíciles de aislar (son solubles en agua). Se utiliza sal (NaCl) para incrementar la liberación de colorantes en los baños. Los electrolitos suprimen la acumulación de cargas negativas en la tela ocasionadas por el uso de colorantes aniónicos y, por tanto, potencian la absorción de colorantes (Ahmed 2005). Se pueden utilizar cantidades de hasta 100g/l de colorante, aunque las cargas necesarias pueden variar de una materia colorante a otra (Ahmed 2005). La urea se ha utilizado tradicionalmente como disolvente adicional, pero su uso ya se encontraba en declive a principios de la década de los noventa (IPPC 2003). Se han desarrollado colorantes modernos que no necesitan urea para conseguir un alto índice de fijación.

La baja fijación de colorantes es un problema en el tintado reactivo desde hace mucho tiempo. No obstante, se ha seguido usando ya que tanto su capacidad de reproducir sombras como su durabilidad de color son excelentes. Se está trabajando para aliviar el impacto medioambiental del tintado reactivo. El uso de colorantes catiónicos o bien de un tratamiento previo de la tela basado en polímeros catiónicos alivia la necesidad de utilizar electrolitos y reduce el consumo de agua (Burkinshaw et al 2000) (Ahmed 2005) (Blackburn 2002). Tras teñir la tela, se lava repetidas veces con surfactantes para retirar el exceso de material colorante o tintes no adheridos.

4.2 Colorantes directos

Los colorantes directos son moléculas largas más planas que se pueden alinear con las macromoléculas de las fibras. Éstas se fijan por fuerzas (electroestáticas) de Van der Waals y por puentes de hidrógeno. El 75% del consumo se destina al tintado de las fibras de celulosa (IPPC 2003).

Se utilizan auxiliares similares a los de los colorantes reactivos. Se aplican electrolitos (cloruro sódico o sulfato sódico) para favorecer el agregado de moléculas de colorante sobre la fibra. Se aplican humectantes (generalmente surfactantes no iónicos) para contribuir a una absorción uniforme y completa del colorante. Para contribuir a una buena durabilidad del color aplican un tratamiento posterior que bloquean los grupos hidrófilos en la molécula del colorante y ocasiona una reducción en la solubilidad en agua. (IPPC 2003). Predominan los compuestos cuaternarios de amonio con largas cadenas de hidrocarburo. Éstas forman compuestos similares a la sal con la molécula del colorante. Los compuestos cuaternarios del amonio suelen ser tóxicos para los organismos acuáticos.

También se pueden utilizar agentes basados en productos de la condensación del formaldehído (IPPC 2003). Éstos forman aductos apenas solubles con las materias colorantes. Tal y como trataremos con más detalle posteriormente, la liberación de formaldehído libre provoca preocupaciones de índole ecológico y toxicológico.

4.3 Colorantes tina

Los colorantes tina son compuestos insolubles en agua, generalmente con composiciones basadas en antraquinonas o extractos de índigo. Consiguen una excelente durabilidad del color y estabilidad a los rayos UV, por lo que estos colorantes caros se usan con frecuencia en telas que han de soportar lavados frecuentes y duros, como los uniformes militares y los textiles para hospitales o aquellos que se ven expuestos constantemente a la luz del día como la ropa y los complementos.

Los colorantes son insolubles en agua y se utiliza la química REDOX para permitir su fijación. En primer lugar, se reduce la materia colorante hasta llegar a una forma soluble en agua utilizando ditionito de sodio (hidrosulfito sódico). Esto provoca la presencia de sales de azufre en las aguas residuales. Hay sustitutos como el acetol (hidroxiacetona), aunque por lo general esta sustancia no es tan eficaz y, por tanto, no puede reducir determinados colorantes (Lacasse y Baumann 2004). También se suministran los colorantes en forma pre-reducida y es habitual encontrar agentes dispersantes en la mezcla colorante (IPPC 2003), como por ejemplo un condensado de ácido naftalensulfónico – formaldehído (Figura 2).

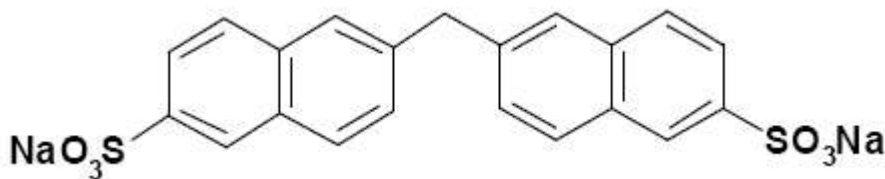


Figura 2 Un producto de condensación ácido naftalensulfónico – formaldehído

Estos productos no son biodegradables, ya que su estructura molecular es demasiado grande para ser absorbida por células bacterianas enteras (Reiger et al 2002). La contaminación con formaldehído también se produce con todos estos polímeros aunque la literatura industrial (prospectos de información de los productos) suelen estipular un “bajo contenido en formaldehído” y se han fijado niveles aceptables. El formaldehído es muy soluble en agua (Índice Merk 1999), lo que provoca bajas concentraciones del mismo en las prendas acabadas. Cualquier contaminación se reduce rápidamente tras lavar la prenda (DEPA 2003).

Una vez que se ha producido la absorción en la tela, se añade un oxidante (generalmente agua oxigenada o perborato) para volver el colorante insoluble en agua. Con tratamiento posterior con una solución jabonosa levemente alcalina (NaOH, o NaSO₄) se retirará el exceso de pigmentos y las partículas de colorante quedarán químicamente alteradas.

Los colorantes tina apenas son solubles por lo que resultan fáciles de retirar de las aguas residuales (IPPC 2003). Por tanto se asume que la contaminación de agua no está asociada con este tipo de colorantes. Las impurezas de metales pesados presentes pueden deberse a los procesos de producción (IPPC2003).

4.4 Colorantes sulfurosos.

Estos colorantes se utilizan principalmente para teñir telas de celulosa (incluyendo mezclas) con

tonos oscuros (y generalmente apagados), ya que son baratos y están sólidamente establecidos en la industria. Se forman compuestos insolubles en agua y con alto peso molecular haciendo reaccionar compuestos sulfurosos con aminas y ácidos. Muchos colorantes contienen grupos sulfurosos, pero sólo se clasifican como colorantes sulfurosos aquellos que se vuelven solubles en agua tras la reacción con el monosulfuro sódico en condiciones alcalinas.

El uso de sulfuros y de hidrosulfuro sódico para producir una forma del colorante soluble en agua provoca ciertas preocupaciones medioambientales. (Lacasse y Baumann 2004). Se ha informado que hay un declive en su utilización (IPPC 2003). Existen métodos alternativos, en los que el colorante comercializado se reduce previamente o en los que se utilizan reductores alternativos. Existen sistemas basados en el azúcar; la glucosa puede resultar eficaz por sí sola o en combinación con ditionito de sodio o con hidroxiacetona.

Al igual que con los colorantes tina, se utilizan agentes dispersantes como el condensado de ácido naftalensulfónico y formaldehído o aceites sulfonados.

Después de aclarar, el colorante se oxida para conseguir su fijación. Para ello se puede utilizar H_2O_2 . La IPPC informa que también se pueden utilizar compuestos halogenados (yodatos, cloratos, bromatos). La literatura también sugiere que se utilizan dicromatos, si bien es probable que éste fuera el método utilizado históricamente.

4.5 Colorantes azoicos

Más de la mitad de los colorantes utilizados en la actualidad contienen grupos azoicos. Estos colorantes se distinguen por su método de fijación. El nexo azoico se sintetiza sobre la tela formando una molécula insoluble de colorante a partir de dos fragmentos solubles en agua; un compuesto de naftol y un compuesto diazotizado.

Se hace reaccionar el compuesto de naftol con hidróxido sódico lo que produce un naftolato con partículas ricas en iones que pueden acoplarse. El otro componente del acoplamiento, un compuesto aromático diazotizado, se prepara o bien a partir de una amina aromática en la planta de tintado (por reacción con nitrito sódico y ácido clorhídrico) o bien se suministra en forma de sal estabilizada. Se aplica el agente que desarrolla el compuesto diazotizado a la fibra impregnada en naftol. La reacción de acoplamiento resultante forma una materia colorante insoluble.

Los compuestos azoicos tienen grandes cualidades aromáticas y son de colores vivos. Cabe cierto grado de “mezcla y combinación” y distintas combinaciones de componentes acoplantes con bases diazóticas producen distintos colores. Posiblemente éste sea el proceso de aplicación de colorantes más complejo, que requiere técnicos bien formados y una química exacta. Por eso, la mayor parte de las empresas de tintado ya no lo utilizan y optan por procesos más simples.

4.6 Tintado de lana

La lana sólo supone aproximadamente el 4% del uso de fibras textiles, pero puesto que predominan los tonos oscuros, supone un 8% del consumo total de colorantes (Lacasse y Baumann 2004). Se pueden utilizar las siguientes materias colorantes:

- colorantes ácidos (sin metales)
- colorantes (mordientes) con cromo
- colorantes premetalizados en proporción 1:1 y 1:2
- colorantes reactivos

- (y más recientemente) colorantes dispersos temporalmente solubles.

En la actualidad, más del 65% de la lana se tiñe con colorantes con cromo o premetalizados.

4.7 Colorantes ácidos

Los colorantes ácidos suelen ser brillantes, con una durabilidad variable ante los lavados. Estructuralmente, las moléculas de los colorantes varían mucho e incluyen algunos complejos metálicos (por ejemplo el colorante C.I azul ácido 249 se centra en torno a un ion del cobre). La característica definitoria del grupo es la presencia de grupos sulfonados, que son los que aportan la solubilidad en agua. La adherencia a la lana se da en parte debido a la interacción entre dichos grupos sulfonados y los grupos de amonio de la fibra de lana. Las fuerzas de Van der Waals proporcionan una interacción adicional de adherencia. El grado de interacción, y por tanto, el grado de durabilidad del color depende directamente del tamaño de la molécula del colorante.

En general, los colorantes se aplican en condiciones de acidez (utilizando ácido fórmico o acético), dependiendo el grado de acidez de las propiedades individuales del colorante. El uso de igualadores también es determinado por la afinidad del colorante a la fibra. Los que exhiben un alto nivel de afinidad requieren una regulación química para conseguir un tintado uniforme. Los sulfatos (de amonio o sodio) compiten con las moléculas de los colorantes en busca de lugares de adherencia en la fibra, lo que controla el índice de adherencia y produce un resultado más uniforme. También se utiliza una amplia gama de surfactantes como igualadores y éstos pueden ser no iónicos, aniónicos, catiónicos o anfóteros. Hay productos disponibles en el mercado que contienen mezclas sinérgicas de distintos tipos de surfactantes (Lacasse y Baumann 2004).

4.8 Colorantes (mordientes) con cromo

Este método de tintado utiliza iones de cromo para ‘adherir’ materias colorantes a la fibra. El cromo forma un complejo tanto con el colorante como con los grupos presentes en la fibra, actuando como puente. Este nexo es extremadamente fuerte suplementado por interacciones iónicas entre la materia colorante y la fibra y produce una excelente durabilidad del color ante los lavados. Estos colorantes se utilizan principalmente para conseguir tonos oscuros.

La técnica más habitual utilizada en la actualidad es la técnica *de después del cromado* (IPPC 2003). La materia colorante se aplica primero a la fibra y luego, en una fase por separado, se añade sal de cromo. Se utilizan sales de cromo (VI), que son solubles en agua (generalmente el dicromato $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). El cromo se reduce hasta conformar sobre la fibra, por grupos, un complejo Cr (III) soluble en agua. Se pueden añadir ácidos orgánicos o tiosulfatos para aumentar el nivel de fijación.

Si bien el cromo (III) es un nutriente esencial (en pequeñas dosis), el cromo (VI) no es esencial y es tóxico (ATSDR 2000, Goyer 1996). Los compuestos son corrosivos y producen fácilmente reacciones alérgicas en la piel tras la exposición a los mismos, independientemente de la magnitud de la dosis. La exposición durante cortos períodos de tiempo a altas concentraciones de dichos compuestos puede producir ulceraciones por contacto con la piel, perforación de superficies respiratorias por inhalación e irritación del tracto gastrointestinal por ingestión. También se ha informado de daños en los riñones y en el hígado (ATSDR 2000)

La toxicología del cromo en agua también depende del tipo de cromo de que se trate. El cromo (III) es mucho menos disponible biológicamente y mucho menos tóxico que el cromo (VI). Se han observado efectos negativos en organismos acuáticos expuestos al cromo (VI) disuelto en concentraciones por debajo de 40 $\mu\text{g}/\text{l}$. Es más, se ha demostrado que tanto el cromo (III) como el cromo (VI) se acumulan en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan de

los fondos, en bivalvos, mejillones y almejas (Kimbrough *et al.* 1999).

Los niveles de cromo en los efluentes de plantas de tintado están relacionados con la práctica industrial. Una aplicación impropia de dicromatos o una reducción incompleta podría desembocar en la presencia de sales de cromo (VI). Y puesto que esta sustancia es soluble en agua, es más probable que llegue a los cursos de agua que el cromo (III) que tiene más probabilidad de precipitarse o de ser absorbido en el fango. La vida medioambiental del cromo (VI) es corta, ya que la inestabilidad de su estado de oxidación ocasionará una reducción rápida.

4.9 Colorantes premetalizados

Más que tratarse de clases separadas por aplicación, los colorantes de complejos metálicos se agrupan sencillamente mediante una característica estructural común: la presencia de un ion metálico. Las etiquetas 1:1 y 1:2 expresan la proporción de ion metálico con respecto a moléculas de colorante. Al igual que con los colorantes mordientes, tienen una excelente durabilidad de color ante los lavados. Su aplicación se produce en condiciones de acidez que varían de una materia colorante a otra. El ácido sulfúrico da altos niveles de acidez, por lo que para conseguir condiciones menos ácidas se utiliza el ácido acético. Si es preciso aplicar igualadores, se utilizan sulfatos o bien surfactantes (IPPC 2003).

4.10 Colorantes dispersos – Tintado del poliéster

El poliéster se tiñe exclusivamente con colorantes dispersos, de los que más del 50% son compuestos azóicos y otro 25% antraquinonas (IPPC 2003). Los colorantes solubles en agua no se adhieren al poliéster, ya que sus fibras son hidrófobas. Por el contrario, los colorantes dispersos se pueden caracterizar por la falta de grupos polares y, en general, se trata de moléculas pequeñas (que penetran las fibras con mayor facilidad). Las moléculas del colorante no se adhieren a la fibra, sino que se produce toda una variedad de interacciones electroestáticas (dipolo-dipolo, Van der Waals, y puentes de hidrógeno) que incrementan la afinidad con la fibra, lo que produce la fijación. La falta de un fuerte nexo químico permite cierto grado de migración fuera de la fibra, lo que produce la alta incidencia de dermatitis de contacto asociada con las materias colorantes dispersas.

Los licores acuosos son el método favorito de la industria a la hora de aplicar estos colorantes. En el caso del poliéster, el colorante insoluble en agua se aplica en dispersión acuosa. El colorante no penetra las fibras con facilidad, por lo que es necesario crear cierto tipo de condiciones que fuercen el proceso. En el caso del poliéster puro (o de mezclas con fibras de celulosa) se aplica calor. Uno de los métodos (el de tintado discontinuo) se realiza bajo presión a 125-135°C con un pH ácido (ácido acético). Se añaden agentes igualadores (generalmente ésteres carboxílicos, etoxilatos, o combinaciones de otros hidrocarburos) para impedir una absorción demasiado rápida del colorante (Lacasse y Baumann 2004). Uno de los métodos más importantes de tintado del poliéster y/o las mezclas de celulosa es el proceso Themosol, que implica aplicar agentes que previenen la migración al colorante a una temperatura de 140°C y luego proceder a una fijación breve a más de 200 °C.

El tintado de las mezclas de lana y poliéster debe producirse a temperaturas más bajas. En este caso se utilizan agentes químicos (carriers) para facilitar la penetración del colorante. Entre los compuestos utilizados destacan:

- Bencenos halogenados, incluyendo bencenos di- y triclorados y el diclorotolueno.
- Hidrocarburos aromáticos (incluyendo los bifenilos, como el 2-fenilfenol).
- Ácidos carboxílicos, incluidos los ftalatos (DMP, ftalato de dibutilo, DEHP) y los

- benzoatos.
- Las alquiloftalimidas, por ejemplo, la N-butilftalimida.

El contenido en *carriers* de las prendas acabadas, puede ser muy bajo (<0.2%) si se utilizan las últimas prácticas en materia de tintado. De lo contrario, se pueden alcanzar contenidos de hasta el 2,7% (Platzek 2002). Hay cuestiones toxicológicas asociadas con la mayoría de los *carriers* (Lacasse y Baumann 2004). Los bencenos halogenados (por ejemplo, los 1,2,4-triclorobencenos), el ftalato de dibutilo y dietilhexil ftalato están contemplados en el Convenio OSPAR y son bioacumulables (Smith *et al* 1990) (Sanders *et al* 1973) y tóxicos (OSPAR). Estas sustancias se someterán asimismo a restricciones al amparo del REACH. Si bien no se pudo conseguir información sobre su uso, parece que las sustancias más habitualmente aplicadas en la UE son los ésteres del ácido carboxílico y las alquiloftalimidas. Se sospecha que aún se están utilizando sustancias cloradas (IPPC 2003).

Someter el poliéster a altas temperaturas puede hacer que las sustancias migren de las fibras al licor del colorante. Se sabe que se pueden liberar óxidos de antimonio (que los catalizadores de producción PET presentan como una impureza). El trióxido de antimonio ha sido registrado por la IARC como sustancia de la categoría 2b (posiblemente cancerígena para el ser humano). Las pruebas se basan principalmente en estudios de inhalación realizados con ratas. Está asimismo catalogado como tóxico por vía intravenosa y subcutánea (Lewis 2004). La sustancia ha de llevar impresa la frase “posible riesgo de efectos irreversibles”. Como sustancia que suscita mucha preocupación en el seno de la UE, se encuentra sujeta a evaluación de riesgos de acuerdo con el Reglamento (CEE) N° 793/93 del Consejo, aunque la evaluación todavía no está disponible. La falta de una información toxicológica exhaustiva de esta sustancia queda clara tras la preceptiva búsqueda por diversas fuentes. Esta sustancia es un claro ejemplo de la necesidad de REACH.

Existen catalizadores alternativos, en concreto sistemas basados en el dióxido de titanio. Sachtleben Chemie GmbH y otras empresas llevan al menos tres años comercializando un sistema de este tipo. Se han registrado patentes por otras empresas, incluyendo varias patentes por la empresa DOW. El dióxido de titanio es un aditivo alimentario registrado. La sustancia es más cara, aunque esto se ve compensado por su mayor actividad catalítica. Hay indicios de que puede que algunos sistemas alternativos contengan óxidos de cobalto y se ha demostrado que éstos también producen efectos tóxicos, por lo que deben evitarse.

4.11 Tintado del nylon

Al nylon se le puede teñir con una amplia gama de colorantes: debido a la naturaleza hidrófoba de la fibra se pueden utilizar colorantes dispersos, pero la presencia de grupos polares permite el uso de colorantes premetalizados, ácidos y reactivos.

4.12 Tintado de acrílicos

Los acrílicos, que son hidrófobos, pueden teñirse con facilidad con colorantes dispersos sin necesidad de *carriers*, aunque la presencia de grupos aniónicos permite el uso de materias colorantes catiónicas.

4.13 Estampación

Si bien el tintado da un color uniforme, la estampación permite la aplicación de toda una gama de

colores distintos. Suelen ser necesarias entre 5 y 10 pastas para una única plantilla. Se puede dar color con pigmentos o con colorantes.

La estampación con pigmentos se está volviendo cada vez más popular (IPPC 2003). Puesto que el pigmento no cuenta con afinidad natural alguna por la tela, debe fijarse con un sistema de adhesión, generalmente utilizando algún tipo de polímero autorreticulante como, por ejemplo, los acrilatos.

En el caso de las camisetas, se suele utilizar la estampación de tipo Plastisol. Se aplica el color en forma de una pasta de PVC con un plastificante que forma una capa fácil de distinguir al tacto. Un ejemplo de este tipo de aplicación se da en las camisetas de fútbol. Las zonas impresas (a menudo con un contenido fibroso) se realizan en pastas de PVC/ftalatos. Éstas se utilizan por su versatilidad, y la producción se lleva a cabo en pequeñas cantidades, ya que las camisetas suelen ser rediseñadas con frecuencia. Por ello, los elaboradores de estas pastas necesitan una base que pueda soportar distintas mezclas de pigmentos y aditivos.

Los plastificadores más comúnmente utilizados en esta aplicación son los ftalatos, en concreto el DEHP, o ftalato de di (2-etilhexilo), el BBP (benzilbutilftalato), el DINP (diisononilftalato) y el DHP (diheptil ftalato) (Greenpeace 2004). Estas sustancias llevan varios años suscitando preocupación por su toxicidad tanto para los seres humanos como para el medio ambiente. Han sido identificados como componentes del polvo doméstico (Santillo et al. 2003) y se ha detectado su presencia en la sangre humana (Colon et al. 2000, Blount et al. 2000). El DEHP es una sustancia tóxica para la reproducción que ha sido registrada bajo la Directiva 76/769 de la UE. Se ha demostrado que causa cambios morfológicos en los testículos, incluyendo apoptosis, necrosis, y pérdida de células espermatogénicas, lo que provoca la atrofia testicular (Park *et al.* 2002). El uso de ftalatos en los juguetes de niños de PVC hoy en día está controlado por legislación de emergencia de la Unión Europea. En el mercado existen tanto pastas sin ftalatos como, aún más importante, pastas sin ftalatos y sin PVC. A pesar de ello, los ftalatos siguen en pleno uso y los utilizan primeras marcas (Greenpeace 2004, DEPA 2003).

Las pastas de estampación con colorante tienen una composición más variable, dependiendo del tipo de colorante que se use (IPPC 2003). Las preocupaciones medioambientales son similares a la técnica equivalente de colorantes húmedos, excepto por una carga adicional de DQO debida al uso de espesantes.

4.14 Colorantes derivados de la naturaleza

El uso de la tecnología moderna ha reducido considerablemente la cantidad de materias colorantes que se escapan al medio ambiente. Sin embargo, se ha propuesto el retorno a las materias colorantes naturales como método fundamental para reducir la carga medioambiental. Se ha demostrado que los colorantes naturales pueden proporcionar una amplia gama de tonos y que se pueden obtener niveles aceptables de durabilidad (Bechtold *et al.* 2002). Estos colorantes son inherentemente biodegradables y su uso implica una menor carga química para los desagües.

Los artesanos son quienes, tradicionalmente, han aplicado estos colorantes. Esta experiencia hoy en día se está perdiendo y no hay técnicas investigadas que permitan transferirlas a las plantas de tintado modernas. Se citan con frecuencia problemas de variación de color (Slater 2004). Este problema se puede solucionar aplicando métodos de extracción modernos.

4.15 Colorantes y pigmentos tóxicos

Muchos tintes son sustancias persistentes. Puesto que muchos de los tintes más importantes llevan

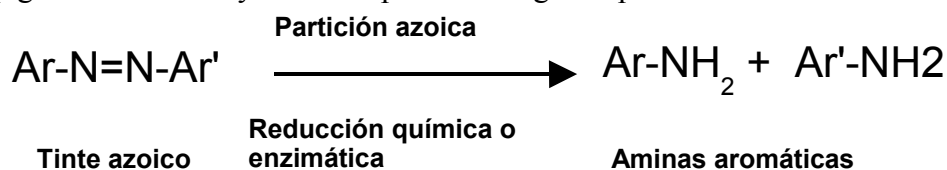
años en el mercado, se encuentran encuadrados bajo la actual directiva sobre sustancias químicas y no son sometidos a pruebas exhaustivas (en los casos en los que se someten a prueba) para determinar los efectos potenciales que puedan tener sobre la salud. Por ello, la entrada en vigor de la legislación REACH ciertamente supondrá un impacto.

4.15.1 Carcinogenicidad y mutagenicidad

Más de la mitad de los colorantes contienen enlaces azoicos. Este acoplamiento químico, en combinación con los grandes grupos aromáticos, proporciona el color a la molécula. Los enlaces azoicos se pueden partir bajo condiciones reductoras para formar aminas. Se ha demostrado que algunas de estas aminas aromáticas son cancerígenas y 22 de ellas están recogidas en la Directiva 2002/61/CE de la Unión Europea. Esta legislación se basa en una Ordenanza de Bienes de Consumo alemana y prohíbe el uso de colorantes que puedan liberar en prendas acabadas cualquiera de las aminas en concentraciones por encima de 30 ppm. Sin embargo siguen en el mercado más de 100 colorantes con el potencial de liberar aminas cancerígenas (IPPC 2003).

Los colorantes azoicos liberados de los textiles pueden verse expuestos a agentes reductores químicos o a enzimas reductoras. En el organismo humano, podrían ser las bacterias intestinales o la reductasa azoica en el hígado (Oh et.al 1997).

Los pigmentos azoicos también pueden liberar aminas. Éstas pueden no estar controladas por la legislación, ya que los pigmentos suelen ser insolubles en agua por lo que se asume que no suponen amenaza alguna para la salud. La Ordenanza de Bienes de Consumo alemana distingue entre varios tipos de pigmentos azoicos y somete a pruebas a algunos pero no a otros.



Los riesgos que se producen en los derivados de colorantes azoicos están reconocidos desde hace muchos años. Sin embargo, esto no es así en lo relativo a los derivados de colorantes en general. La información toxicológica es escasa y la mayor parte de estos artículos fueron comercializados antes de 1983 (Schneider 2004). Los estudios más recientes financiados al amparo de una iniciativa CRAFT (Acción de Investigación Cooperativa para la Tecnología) de la Unión Europea muestran que hay motivos de preocupación. Se demostró que 14 de cada 281 productos de tinto sometidos a pruebas eran mutagénicos y en otros 16 existen sospechas de mutagenicidad (Schneider 2004). El informe resultante de este trabajo de investigación revela la escala del problema, ya que fue imposible encontrar datos de mutagenicidad de 93 de las sustancias evaluadas (y disponían de acceso a información industrial). También cabe destacar que los colorantes objeto de preocupación procedían de todas las clases químicas representadas, lo que indica la necesidad de evaluar los colorantes caso por caso. Este informe y otros más indican que muchos colorantes serían catalogados como sustancias químicas preocupantes al amparo del REACH. Ejemplo de ello es el C.I Azul Básico 3, una sustancia que se ha demostrado que tiene propiedades cancerígenas (CCRIS online) y, a pesar de ello, sigue utilizándose habitualmente para teñir fibras poliacrílicas.

4.15.2 Dermatitis por contacto

Los colorantes han sido relacionados con la dermatitis por contacto (Hatch 1999). Se sabe que el problema se produce con colorantes dispersos, ácidos y reactivos. Está especialmente asociada a los colorantes dispersos, ya que éstos no se adhieren químicamente a las fibras por lo que hay mayor

probabilidad de que entren en contacto directo con la piel. El etiquetado ecológico Öko-tex tiene registradas 21 sustancias colorantes clasificadas como alergénicas, todas ellas son colorantes dispersos.

4.15.3 Contenido de metales pesados

Los colorantes son una fuente muy importante de metales en los textiles acabados. Se suelen utilizar metales de transición, el cromo, el cobre, el níquel y el cobalto. Estos metales pueden formar enlaces múltiples con las materias colorantes y/o fibras orgánicas. Si el metal ha sido utilizado de forma intencional en el tintado, podrá detectarse en altas concentraciones en la prenda acabada. No son inusuales las concentraciones de cobre de hasta 300 ppm (Rybicki *et al* 2004, DEPA 2003).

Muchos metales pesados se encuentran presentes en niveles ppm como impurezas en las fibras crudas (Rybicki *et al* 2004) y puede que también estén presentes como impurezas en las materias colorantes por su utilización como catalizadores en la síntesis de colorantes (Lacasse y Baumann 2004). Es difícil evaluar la disponibilidad de los metales, así como los riesgos potenciales para la salud. Es poco probable que se liberen los metales fijados en complejos de colorante insolubles en agua ya que no es probable que dichos complejos sean biodisponibles. Los etiquetados ecológicos (Öko-tex 100) marcan límites en los niveles de metales permitidos en las telas, aunque los métodos de detección utilizados no tienen en cuenta su disponibilidad o su estado de oxidación (factores que ejercen un efecto considerable sobre la toxicidad y la biodisponibilidad).

5 Acabados

El acabado de los textiles constituye el área más variable en el proceso de producción. Actualmente existen en el mercado una amplia y siempre creciente diversidad de acabados que mejoran las propiedades de la prenda, por ejemplo proporcionando resistencia a las arrugas, o las propiedades de “rendimiento”, incluyendo agentes biocidas para impedir que la ropa interior o de deporte emita olores. Entre los acabados actuales podemos encontrar algunos (cuestionablemente) superfluos, como un acabado de “bienestar” producido por la empresa alemana CHT R. Beitlich GmbH que libera la vitamina E antioxidante.

5.1 Acabados de fácil cuidado

Los acabados de fácil cuidado son los más comunes y se perciben como necesarios para que las fibras de celulosa puedan competir con las fibras sintéticas modernas. Las reticulaciones entre fibras impiden que se produzcan arrugas tras mojarse y reducen el riesgo de encogimiento en los lavados.

Los agentes reticulantes son la principal fuente de emisiones de formaldehído en las prendas acabadas (IPPC 2003). La industria ha trabajado para desarrollar productos con un contenido “bajo” y “muy bajo” en formaldehído. En la actualidad existen algunos sustitutos libres de los formaldehído. Un estudio de la EPA danés sobre sustancias químicas presentes en la ropa halló que tres de cada diez prendas sometidas a análisis no contenían formaldehído. Se demostró que sus niveles caían significativamente tras un lavado a temperatura baja. Esto indica que posiblemente la mayor exposición a este agente cancerígeno la soportan los empleados de la industria, incluidos los vendedores minoristas (DEPA 2003).

5.2 Acabados hidrófobos

Se pueden otorgar a las telas cualidades hidrófobas de varias maneras. Se han utilizado métodos basados en la cera de parafina desde hace ya muchos años. A pesar de sus costes comparativos, los fluoropolímeros han ido ganando en popularidad gracias a su rendimiento (IPPC 2003). También existen tratamientos de silicona y resinas.

Se ha utilizado la cera de parafina en combinación con sales de aluminio o de circonio, ya que éstas suelen exhibir una toxicidad más baja que los demás metales. Cabe destacar que durante los tratamientos térmicos se liberan altos niveles de VOC.

Los fluoropolímeros repelen tanto el aceite como el agua. Los compuestos fluorados de cadena corta, que son los elementos con los que se construyen los acabados, han sido objeto de gran preocupación debido a su gran proliferación en el medio ambiente en todo el mundo (Boulanger *et al* 2004, So *et al* 2004, Martin *et al* 2004). Estas sustancias son persistentes debido a la fortaleza inherente de los enlaces entre carbono y flúor. El PFOS (perfluorooctanil sulfonato) es el material de arranque para muchos acabados. La empresa 3M retiró voluntariamente algunos de sus productos basados en fluorocarburos (incluyendo el Scotchguard) en el año 2000 por las preocupaciones medioambientales del PFOS (ENDS 2000). Esta sustancia se ha detectado en la sangre humana (Kannan 2004) y seguramente cumple con los criterios necesarios para poder ser clasificado como COP (Contaminante Orgánico Persistente) [ENDS 2004 a]).

5.3 Retardantes de llama

Existe una amplia gama de sistemas retardantes de llama. Puesto que se trata de una aplicación que no se aplica principalmente a la confección, nos limitaremos aquí a destacar algunas cuestiones de actualidad.

Los retardantes de llama halogenados han sido estudiados en los últimos años. Los polibromdifenoleteres (PBDE) en particular han sido objeto de mucha atención. Los PBDE son persistentes, lipófilos y bioacumulables de origen antropogénico (Jakobsson *et al* 2002). Se han observado incrementos exponenciales de PBDE en la fauna ártica utilizando tejidos archivados a lo largo de el periodo 1981 - 2000 (Ikonomou *et al.* 2002).

Si bien se está eliminando progresivamente el uso de dos sustancias menores, el penta- y octa-PDE, en aplicación de la directiva 2003/11/CE de la Unión Europea, en general se considera que la materia más sustituida entre los PBDE (Deca-PDE) no supone un riesgo. Ya que los niveles de producción de las sustancias PDBE menos sustituidas eran mucho menores, la acción reguladora no afectó en gran medida a la industria. El decabromodifenil éter salió del proceso de evaluación de riesgos de la Unión Europea prácticamente intocado. Esta sustancia es muy versátil y se utiliza tanto en los textiles como en los polímeros. Sin embargo, el resumen de evaluación de riesgos (ECJRC 2003) concluía que:

- Era preciso realizar más estudios para evaluar plenamente los efectos del deca-BDE en el medio ambiente.
- “[Un] aspecto de la preocupación por la intoxicación secundaria es que, aunque la sustancia es persistente, existen pruebas de que puede degradarse bajo ciertas condiciones para acabar convirtiéndose en compuestos más bioacumulativos y tóxicos”.
- “Hay un alto nivel de incertidumbre asociado con la conveniencia del actual enfoque de evaluación de riesgos respecto a la intoxicación secundaria y a la debromación. La

combinación de incertidumbres plantea la preocupación sobre los potenciales efectos medioambientales a largo plazo que no se pueden prever con facilidad. No cabe afirmar, con base científica, que exista un riesgo actual o futuro para el medio ambiente. No obstante, dada la naturaleza persistente de la sustancia, sería preocupante si, una vez recogida la información adicional, los análisis indicaran un riesgo para animales predadores, ya que entonces resultaría difícil reducir la exposición a la misma.”

- *“Cierta número de expertos técnicos procedentes de estados miembros de la Unión Europea consideran que esta incertidumbre es suficiente para justificar la adopción de medidas de reducción de riesgos basadas ... directamente en la información proporcionada actualmente en esta valoración”.*

Se han publicado ya numerosos estudios que indican la existencia del peligro del deca-PDE. También se ha demostrado que el deca-PDE puede sufrir debromación en el medio ambiente formando derivados que han demostrado ser más tóxicos (Tysklindet al., 2001). Las agencias medioambientales y los grupos de presión tenían la esperanza de que una iniciativa voluntaria con implicación del grupo industrial BSEF (Bromine Science and Environmental Forum) obligaría a realizar un seguimiento de esta sustancia y reduciría los niveles de emisión. Sin embargo, en la primera reunión del grupo de trabajo pertinente, el BSEF anunció que realizar un seguimiento de los niveles de deca-BDE sería demasiado caro (ENDS 2004 b). Estas pruebas, combinadas con la evaluación técnica de alternativas en aplicaciones textiles en la que se concluye que ya existen alternativas de sustitución (KEMI 2004), constituyen argumentos muy fuertes en favor de la sustitución.

5.4 Bactericidas y fungicidas

Está aumentando la aplicación de productos antibacterianos. En la confección, el triclosan es el producto que más se aplica (DEPA 2004). Esta sustancia ha suscitado preocupación entre los dermatólogos, debido a los riesgos potenciales en la piel para la fauna. Su coeficiente de partición n-octanol/agua indica su potencial de bioacumulación. Se estima que el factor de bioacumulación del principal metabolito, el metil-triclosan, está entre 2000 y 5200 (Balmer *et al* 2004), lo suficiente para ser calificado como persistente o incluso muy persistente al amparo del REACH. Se ha determinado que el nivel de NOEC (concentración para la que no se observan efectos) en la trucha arco iris es de $34 \times 10^{-6} \text{g/L}$ (Orvos *et al* 2002) por encima del umbral preceptivo en REACH para ser calificado como materia tóxica. La misma fuente cita el nivel detectado en las algas de la especie *scenedesmus subspicatus* como de $0.5 \times 34 \times 10^{-6} \text{g/L}$; por debajo de dicho umbral. Los datos de bioacumulación son escasos aunque parece que se produce una conversión al metiltriclosan (Singer *et al* 2002).

Un estudio realizado por la EPA danesa sobre ropas con bactericidas halló niveles de triclosan de 7-195 ppm (límite de detección= 5 ppm) y concluyó que era probable que la emisión a los desagües por los lavados fuera mucho más baja que la procedente de otras fuentes domésticas (DEPA 2004).

La sustitución de componentes antibacterianos implica una sustitución en la práctica por parte de los usuarios: los lavados poco frecuentes han de ser sustituidos por lavados más frecuentes.

6 Conclusiones

Se han cumplido en todo lo posible los términos de referencia y se han identificado las principales fuentes de emisión de sustancias tóxicas. La mayor parte de la huella medioambiental de los textiles se produce durante la producción, en gran parte debido a la cantidad de aditivos químicos necesarios para producir las telas acabadas. Las prendas acabadas pueden contener una cantidad limitada de sustancias químicas residuales. En general, el contenido de sustancias tóxicas en las prendas acabadas es limitado. Un extenso estudio realizado por la EPA danesa no halló grandes motivos de preocupación (DEPA 2003).

Las principales sustancias químicas de preocupación identificadas en las prendas acabadas y que pueden ser de particular interés son: los ftalatos en prendas estampadas con el método Plastisol y el trióxido de antimonio en las telas de poliéster. Ciertos colorantes son objeto de preocupación, aunque debido a la naturaleza específica de su aplicación, no sea relevante la exposición a los mismos. Las cuestiones relativas al uso de los fluoropolímeros es también merecedora de atención. Sin embargo, en el momento de la redacción del presente informe, quedaban una serie de preguntas sin responder y no se encontraron estudios en los que se relacionaran prendas con emisiones. Los aditivos antibacterianos también han sido objeto de mucha atención. Otro estudio de la DEPA sobre la presencia de agentes antibacterianos en la ropa, sólo halló concentraciones limitadas de triclosan y de ningún otro agente.

La industria textil y sus productos provocan una gran variedad de impactos medioambientales y toxicológicos. Sin embargo, debido a la complejidad y a la gama de productos químicos implicados y a la falta de datos, resulta difícil realizar una evaluación exacta de tal impacto. Se han realizado esfuerzos en Europa para, cuando menos, evitar las sustancias químicas de mayor preocupación, aunque, desgraciadamente, no se puede decir lo mismo en el ámbito mundial.

7 Referencias

- Ahmed. N.S.E (2005): The use of sodium EDTA in the dyeing of cotton with reactive dyes. Dyes and Pigments (*El uso del EDTA de sodio en el tintado del algodón con colorantes reactivos. Tintes y Pigmentos*) 65: 221-225
- ATSDR (2000) Toxicological profile for chromium on CD-ROM. (*Perfil toxicológico del cromo en CD-ROM*) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Public Health Service
- Balmer, M. E., Poiger, T., Droz, C., Romanin, K., Bergqvist, P.-A., Muller, M. D., Buser, H.-R. (2004) Occurrence of Methyl Triclosan, a Transformation Product of the Bactericide Triclosan, in Fish from Various Lakes in Switzerland. (*La incidencia del Metil Triclosan, producto de transformación del bactericida Triclosan, en los peces de varios ríos de Suiza*) Environmental Science and Technology, 38 (2): 390-395
- Bechtold. T, Turcanu. A, Ganglberger. E and Geissler. S N (2002) Natural dyes in modern textile dyehouses – how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future? (*Colorantes naturales en varias plantas de tintado textil - ¿Cómo combinar la experiencia de dos siglos para satisfacer la demanda del futuro?*) Journal of Cleaner Production 11:499-509
- Bedsworth, W.W., Sedlak, D.L., (1999) Sources and environmental fate of strongly complexed nickel in estuarine waters: the role of EDTA. (*Fuentes y destino medioambiental de complejos de níquel en las aguas de los estuarios: el papel del EDTA*) Environmental Science & Technology. 33(6): 926-931
- BGVV (2002) Health assessment of specific stilbene derivatives used as textile auxiliaries or in detergents. (*Evaluación en materia de salud de derivados específicos del estibeno utilizados como aditivos textiles o en detergentes*)
- Blackburn.R.S and Burkinshaw.S.M (2002) A greener approach to cotton dyings with excellent wash fastness. (*Un enfoque más verde al tintado del algodón con excelente durabilidad ante los lavados*) Green Chemistry 4: 47-52
- Blount B.C., Silva M.J., Caudill S.P., Needham L.L., Pirkle J.L., Sampson E.J., Lucier G.W., Jackson R.J. & Brock J.W. (2000) Levels of seven urinary phthalate metabolites in a human reference population. (*Niveles de siete metabolitos ftalatos en orina en una población humana de referencia*) Environmental Health Perspectives 108(10): 979-982
- Boulanger, B., Vargo, J., Schnoor, J. L., Hornbuckle, K. C.(2004) Detection of Perfluorooctane Surfactants in Great Lakes Water. (*Surfactantes de perfluoro-octano en el agua de los Grandes Lagos*) Environmental Science and Technology, 38 (15): 4064-4070
- Bunke, D.; Jäger, I.; Naschke, M.; Back, S.; Gerth, D.-R.; Borgschulze, K.; Derakhshani, N.; Wöhler, C.; Hölter, N. (2003) ; Environmental optimization in textile finishing: illustrated by polyester and organic cotton. (*Optimización medioambiental en el acabado textil ilustrado por los casos del poliéster y del algodón orgánico*) Melliland International Textile Report, 84(4), E79 – E80, 2003
- Burkinshaw. S.M, Mignanelli. M, Froehling. P.E, Bide.M.J.(2000) The use of dendrimers to modify the dyeing behaviour of reactive dyes on cotton. (*El uso de dendrímeros para modificar el comportamiento colorante de los tintes reactivos en el algodón*) Dyes and Pigments 47: 259-267
- Chavan RB, Vhanbatte S (2002) Alternative reducing system for dyeing of cotton with sulphur dyes (*Sistema reductor alternativo para el tintado de algodón con colorantes sulfúricos*) Indian Journal of fibre and textiles 27 (2): 179-183
- Colon, I., Caro, D., Bourdony, C.J. & Rosario, O. (2000) Identification of phthalate esters in the serum of young Puerto Rican girls with premature breast development. (*Identificación de ésteres de ftalato en suero sanguíneo de jóvenes puertorriqueñas con desarrollo mamario prematuro*) Environmental Health Perspectives 108(9): 895-900
- DEPA (1997) Danish Environmental Protection Agency: Environmental project No. 369. Environmental assessment of textiles. (*Evaluación medioambiental de textiles*)
- DEPA (2003) Danish Environmental Protection Agency: Survey of chemicals in consumer products No23: Survey of chemical compounds in textile fabrics (*Estudio de sustancias químicas en productos de consumo n° 23: Estudio de compuestos químicos en telas*)
- DEPA (2004) Danish Environmental Protection Agency: Survey of chemicals in consumer products No24: Antibacterial compounds in clothing articles (*Estudio de sustancias químicas en productos de consumo n° 24: Estudio de compuestos químicos en prendas de vestir*)
- ECJRC 2003 Risk-Assessment Summary Vol.17, 2003 on: bis(pentabromophenyl) ether decabromodiphenyl ether], (*Resumen de evaluación de riesgos Vol.17, 2003 sobre: éter bis*

(pentabromofenil) éter decabromodifenil]) CAS#: 1163-19-5, EINECS#: 214-604-9. Publication: I.02.78.

- ENDS (2000) [3M's phase-out casts a shadow over fluorocarbon chemicals](#). Report 307, August 2000, pp 5-6
(*La retirada de sustancias fluorocarbonadas las pone en tela de juicio*)
- ENDS (2004 a) Action on PFOS, penta and particles (*Acciones sobre PFOS, penta y partículas*) Report 359, December 2004, p 59
- ENDS (2004 b) Deca-BDE voluntary initiative proposals 'disappointing' (*Las propuestas de iniciativas voluntarias de Deca-BDE son 'decepcionantes'*) Report 358. November 2004, p 10
- EU (2004) European Union Risk Assessment Report. Trichloroethylene. (*Informe de Evaluación de Riesgos de la Unión Europea sobre el tricloroetileno*)
- Fisher, J.W. & Allen, B.C. (1993) Evaluating the risk of liver cancer in humans exposed to trichloroethylene using physiological models. (*Evaluación del riesgo de cáncer de pulmón en seres humanos expuestos al tricloroetileno utilizando modelos fisiológicos*) Risk Analysis 13(1): 87-95
- Goyer, R.A. (1996) Toxic effects of metals. (*Los efectos tóxicos de los metales*) En Casarett & Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons, Fifth Edition, Klaassen, C.D. [Ed]. McGraw-Hill Health Professions Division, ISBN 0071054766
- Greenpeace (2004) Toxic children's wear by Disney (*Ropa Tóxica marca Disney*)
- Horstmann, M and McLachlan, M, 1994, Environmental Science and Pollution Research, (*Ciencia medioambiental e investigación sobre la Contaminación*) Vol 1(1): 15-20
- IARC (1995) Trichloroethylene. IARC Monographs (*Monografía sobre el tricloroetileno*) Vol.63, p.75
- Ikonomou MG, Rayne S, Addison RF. Exponential increases of the brominated flame retardants, polybrominated diphenyl ethers, in the Canadian Arctic from 1981 to 2000. (*Incrementos exponenciales de los retardantes de llama bromados, polibromodifenil éteres, en la región ártica canadiense desde 1981 a 2000*) Environmental Science and Technology 2002;36(9):1886– 92
- IPPC (2003) Reference document on best available techniques for the textiles industry (adopted July 2003) (*Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para la industria textil*)
- Jakobsson K, Thuresson K, Rylander L, Sjödin A, Hagmar L, Bergman A (2002) .Exposure to polybrominated diphenyl ethers and tetrabromobisphenol A among computer technicians. (*La exposición a los polibromodifenil éteres y al tetrabromobisfenol A entre técnicos informáticos*) Chemosphere; 46(5):709–16.
- Kannan, K., Corsolini, S., Falandysz, J., Fillmann, G., Kumar, K. S., Loganathan, B. G., Mohd, M. A., Olivero, J., Wouwe, N. V., Yang, J. H., Aldous, K. M.(2004) Perfluorooctanesulfonate and Related Fluorochemicals in Human Blood from Several Countries. (*El perfluorooctanosulfonato y sustancias fluoradas relacionadas en la sangre humana de varios países*) Environmental Science and Technology, 38 (17): 4489-4495
- Karapinar.E and Sariisik M.O.(2004) Scouring of Cotton with Cellulases, Pectinases and Proteases. Fibers and Textiles in Eastern Europe (*El desengradado del algodón con celulasas, pectinasas y proteasas. Fibras y textiles en Europa del Este*) 12 (3): 79-82
- KEMI (2004) Survey and technical assessment of alternatives to decabromodiphenyl ether (decaBDE) in textile applications. (*Estudio y valoración técnica de las alternativas al decabromodifenil éter (decaBDE) en aplicaciones químicas*) Swedish Chemicals Inspectorate Order No. 510 792
- Kimbrough, D.E, Cohen, Y., Winer, A.M., Creelman, L. & Mabuni, C. (1999) A critical assessment of chromium in the Environment. (*Valoración crítica del cromo en el medio ambiente*) Critical Reviews in Environmental Science and Technology 29(1): 1-46
- Lacasse. K, Baumann. W (2004) Textile Chemicals. Environmental data and facts. (*Sustancias químicas para el textil. Datos y hechos medioambientales*) Springer-Verlag ISBN 3-540-40815-0
- Lewis .R.J (2004) Sax's dangerous properties of industrial materials. (*Propiedades peligrosas de los materiales industriales*) John Wiley and Sons Inc.
- Martin, J. W., Smithwick, M. M., Braune, B. M., Hoekstra, P. F., Muir, D. C. G., Mabury, S. A. (2004) Identification of Long-Chain Perfluorinated Acids in Biota from the Canadian Arctic. (*Identificación de ácidos perfluorados en la biota del ártico canadiense*) Environmental Science and Technology 38 (2): 373-380
- Merk index 1999 12th edition . Electronic edition. (*Índice Merk*)
- Nowack. B., (2002) Environmental chemistry of aminopolycarboxylate chelating agents. (*Química medioambiental de agentes quelatantes aminopolicarboxilatos*) Environmental Science & Technology. 36(19): 4009-4016
- Orvos.D.R et al (2002) Aquatic Toxicity of Triclosan. (*Toxicidad acuática del triclosan*) Environmental Toxicology and Chemistry 21 (7):1338-1449

- Park, J.D., Habeebu, S.S.M. & Klaassen, C.D. (2002) Testicular toxicity of di-(2-ethylhexyl) phthalate in young Sprague-Dawley rats. (*La toxicidad testicular del di-(2-etilhexil) ftalato en ratas Sprague-Dawley jóvenes*) Toxicology 171: 105-115
- Platzek T (2002) Textile Garments. (*Prendas Textiles*) BGVV pp 11
- Reiger P-G. *et al* (2002) Xenobiotics in the environment: present and future strategies to obviate the problem of biological persistence. (*La xenobiótica en el medio ambiente: estrategias presentes y futuras para obviar el problema de la persistencia biológica*) Journal of Biotechnology 94:101-123.
- Rybicki.E. *et al* (2004) Changes in Hazardous Substances in Cotton after Mechanical and Chemical Treatments of Textiles. (*Los cambios en sustancias peligrosas en el algodón tras los tratamientos mecánicos y químicos de los textiles*) Fibres and textiles in Eastern Europe: 12 (2) 67-73
- Sanders,H.O., F.L.Mayer,Jr., and D.F.Walsh(1973) Toxicity, Residue Dynamics, and Reproductive Effects of Phthalate Esters in Aquatic Invertebrates. (*La toxicidad, las dinámicas de residuos y los efectos reproductores de los ésteres de ftalato en los invertebrados acuáticos*) Environmental Research. 6(1): 84-90
- Santillo D, Labunska I, Davidson H, Johnston P, Strutt M and Knowles O. (2003) Consuming Chemicals, (*Consumiendo Química*) Greenpeace Research Laboratories Technical Note 01/2003 (GRL-TN-01-2003)
- Schneider.K, Hafner.C, Jäger.I (2004) Mutagenicity of textile dye products. (*La mutagenicidad de los productos de tinto de textiles*) Journal of Applied Toxicology 24: 83-91
- Singer, H., Muller, S., Tixier, C., Pillonel, L.(2002) Triclosan: Occurrence and Fate of a Widely Used Biocide in the Aquatic Environment: Field Measurements in Wastewater Treatment Plants, Surface Waters, and Lake Sediments. (*Incidencia y destino de un biocida ampliamente utilizado en el medio ambiente acuático: mediciones de campo realizadas en plantas de tratamiento de aguas residuales*) Environmental Science and Technology, 36 (23):4998-5004
- Slater. K (2003) Environmental Impact of Textiles. (*El impacto medioambiental de los textiles*) CRC Press ISBN 1-85573-541-5
- Smith,A.D., A.Bharath, C.Mallard, D.Orr, L.S.McCarty, and G.W.Ozburn (1990) Bioconcentration Kinetics of Some Chlorinated Benzenes and Chlorinated Phenols in American Flagfish, *Jordanella floridae* (*Cinética de bioconcentración de algunos bencenos clorados y fenoles clorados en el pez estandarte americano, Jordanella floridae*) (Goode and Bean) Chemosphere 20(3-4):379-386
- So, M. K., Taniyasu, S., Yamashita, N., Giesy, J. P., Zheng, J., Fang, Z., Im, S. H., Lam, P. K. S.(2004) Perfluorinated Compounds in Coastal Waters of Hong Kong, South China, and Korea. (*Compuestos perfluorados en las aguas costeras de Hong Kong, el sur de China y Corea*) Environmental Science and Technology, 38 (15): 4056-4063
- Stengg.W (2001) The textile and clothing industry in the EU (*La industria textil y de la confección en la UE*) Producido por la Dirección General de Empresas de la Comisión Europea ISBN 92-894-1280-1
- Stringer. R, Johnston P (2001) Chlorine and the Environment, An overview of the chlorine industry. (*El cloro y el medio ambiente, Visión general de la industria del cloro*) Kluwer Academic Publishers ISBN 0-7923-6797-9
- Tandy. S. *et.al.* (2004) Extraction of heavy metals from soils using biodegradable chelating agents. (*La extracción de metales pesados de los suelos utilizando agentes quelatantes biodegradables*) Environmental Science & Technology 38(3): 937-944
- Tysklind M, Sellström U, Söderström G, de Wit C.(2001) Abiotic transformation of polybrominated diphenylethers (PBDEs): photolytic debromination of decabromo diphenyl ether. (*La transformación abiótica de los polibromodifenil éteres (PBDEs): debromación fotolítica del decabromodifenil éter*) En: Asplund L, Bergman A, de Wit C, *et al.*, editors. Proceedings of the second international workshop on brominated flame retardants, BFR 2001, Stockholm, May 14 – 16 2001;. p. 51– 4.
- UBA (2003) Umweltbundesamt (Agencia Federal alemana del Medio Ambiente). Best Available Techniques in the Textile Industry, German contribution the IPPC BREF for the Textiles industry (*Las mejores técnicas disponibles en la industria textil, contribución alemana al IPPC BREF para la industria textil*)
- WHO (1993) Guidelines for drinking-water quality. (*Directrices para la calidad del agua potable*) Vol.1: Recomendaciones. Segunda Edición, ISBN 92 4 154460 0, 188p

GREENPEACE

Campaña de Tóxicos
San Bernardo, 107, 1ª
28015 Madrid
España

tel.: 91 444 14 00
fax: 91 447 15 98

www.greenpeace.es