

# El colorido conflicto de la moda con nuestro planeta

Esteban Silva <sup>(1)</sup>

---

**Resumen:** Adentrándonos en la intrincada cadena textil, desvelamos el impacto ambiental de la coloración de fibras textiles y las limitaciones de los tintes sintéticos comerciales. Presentamos avances tecnológicos emergentes, desde técnicas ecoamigables de tinción hasta los *bioinks* de Protiva, colorantes naturales y de alto rendimiento. Enfatizamos la importancia de la colaboración en este camino hacia una moda más consciente, comprometiéndonos a rediseñar el color y el futuro de la moda.

**Palabras clave:** Moda sostenible - colorantes textiles - Protiva - industria textil - impacto ambiental

[Resúmenes en inglés y portugués en la página 308]

---

<sup>(1)</sup> **Esteban Silva.** Licenciado en Ciencias Biológicas, con especialización en Biología Molecular y Celular de la Universidad Nacional del Sur. Co-fundador y CEO de Protiva Bioinks. [silva\\_esteban@hotmail.com](mailto:silva_esteban@hotmail.com)

## Introducción: la fabricación textil industrial y aplicación de colorantes textiles

La industria textil, un pilar fundamental de la economía global, se entretreje en una intrincada cadena de producción que abarca desde la manufactura de materias primas, como fibras textiles, hasta la entrega de la indumentaria al consumidor. Esta red, interconectada y dependiente de múltiples eslabones, desempeña un papel crucial en la creación y distribución de productos textiles a nivel mundial.

En su punto de origen, la cadena de producción textil comienza con la fabricación de materias primas como fibras de algodón, poliéster y otras numerosas fibras textiles. Estas materias primas son procesadas y transformadas en hilos y telas mediante técnicas que incluyen el hilado y el tejido respectivamente. A medida que los productos textiles cobran forma, la cadena se desplaza hacia la confección, donde los hilos y telas se ensamblan

para dar lugar a la prenda final, que las marcas de moda se encargan de llevar a manos del consumidor.

La tintorería, componente ineludible de esta cadena, es el proceso mediante el cual los colorantes se transfieren a las fibras textiles. Este paso se ubica en eslabones cruciales de la fabricación, ya sea en el hilado, la tejeduría o la confección. En otras palabras, la aplicación de colorantes en la industria textil abarca desde la tintura de los hilos en la etapa de hilado hasta la coloración de las telas luego del proceso de tejeduría, llegando incluso a la fase de confección donde se realizan aplicaciones específicas para imprimir diseños personalizados en la prenda final. La práctica de tintorería, lejos de ser homogénea, adapta su técnica a la naturaleza misma de la materia prima y al propósito específico que busca cumplir en cada fase del proceso productivo.

Enfatizar la importancia del color en la indumentaria no es simplemente reconocer su valor estético; es sumergirse en la esencia misma de la expresión cultural y personal. No obstante, la coloración de cada prenda que elegimos vestir no ocurre sin consecuencias. Dentro de la cadena de producción textil, es especialmente en la tintorería donde se devela una pesada factura ambiental. Actualmente, la coloración de hilos, telas y prendas textiles implica un uso excesivo y contaminación de agua potable. Esto se debe al empleo subóptimo de colorantes sintéticos, a menudo tóxicos para el ser humano y no biodegradables en el entorno natural.

Este artículo no busca desacreditar la importancia del color en la moda ni cuestionar a los fabricantes textiles industriales, quienes hasta ahora carecen de alternativas sostenibles reales. Más bien, pretende sostener una conversación urgente sobre cómo armonizar la expresión de la moda con la sostenibilidad del planeta. El colorido conflicto de la moda con nuestro planeta requiere una mirada crítica y acciones decididas para teñir un futuro más sostenible en la industria textil.

## **Desentrañando el impacto ambiental de los colorantes textiles**

La industria textil, catalogada como la segunda más contaminante después de la petrolera, carga consigo un preocupante impacto ambiental. Es responsable del 20% de la contaminación de agua potable a nivel mundial según lo informado por el Banco Mundial. En un contexto donde el acceso a agua potable es una problemática significativa, esta cantidad de agua representa el equivalente a llenar más de dos millones de piscinas olímpicas cada año con agua dulce contaminada. Además, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas declaró que la industria textil contribuye con el 10% de las emisiones globales de dióxido de carbono. En otras palabras, la industria textil produce más emisiones de carbono que todos los vuelos y envíos marítimos internacionales juntos, con las consecuencias que ello tiene en el cambio climático y el calentamiento global. Más aún, se proyecta un aumento del 50% en estas emisiones para 2030 si la industria no se transforma hacia la sostenibilidad.

En este contexto, el epicentro de la contaminación en la industria textil reside en la fabricación y aplicación de colorantes textiles. La síntesis de los colorantes se realiza a través

de reacciones químicas que utilizan derivados del petróleo como materia prima y requiere del uso de solventes y reactivos tóxicos que pueden generar subproductos nocivos durante la síntesis. Más de 10 mil tintes y pigmentos textiles son utilizados industrialmente, representando una producción de 700 mil toneladas de colorantes sintéticos cada año (Farah Chequer et. al., 2013). La fabricación de este enorme volumen de colorantes impone el uso de combustibles fósiles, contribuyendo significativamente a las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a la industria.

En cuanto a la aplicación de colorantes en fibras textiles, se registra un excesivo consumo de agua y químicos anexos. Sin embargo, según el proceso de teñido y colorante aplicado, un 10 a 50% del tinte utilizado en el proceso se pierde y termina en efluentes (ver tabla 1). La adhesión subóptima de los colorantes a las telas resulta en desechos tóxicos liberados en cuerpos de agua locales. Por esta ineficiencia, cada año se liberan más de 200 mil toneladas de colorantes sintéticos en efluentes posterior al proceso de teñido (Rita Kant, 2012). Los tintes sintéticos son contaminantes y resistentes a la biodegradación, por lo que permanecen en el ambiente durante décadas. Por ejemplo, la vida media del colorante textil comercial "Reactive Blue 19" es cerca de 46 años (Farah Maria Drumond Chequer et. al., 2013). No sólo la presencia de estos colorantes representa focos de contaminación peligrosa, sino también numerosos químicos anexos de origen sintético, tóxicos y contaminantes, que son requeridos para la aplicación eficiente de los colorantes sintéticos, y que terminan siendo descartados en los efluentes de igual forma. Por esto, los efluentes textiles destacan como los más contaminantes entre todos los efluentes industriales, tanto por su tamaño como por su composición.

Tipo de colorante sintético	Tipo de fibra	Grado de fijación (%)	Descarga en efluentes (%)
Ácido	Poliamida	85-95	5-15
Básico	Acrílico	95-100	0-5
Directo	Celulosa	70-95	5-30
Disperso	Poliéster	90-100	0-10
Reactivo	Celulosa	50-90	10-50
Sulfuro	Celulosa	60-90	10-40
Tina	Celulosa	80-95	5-20

**Tabla 1.** Porcentaje de fijación de colorantes sintéticos en telas afines y porcentaje desechado en efluentes (Pablo Zaruma et. al., 2018).

Con mayor detalle, varios químicos (presentes en los efluentes y derivados del proceso tintóreo) se evaporan en el aire que respiramos y pueden manifestarse como reacciones alérgicas en personas expuestas (Patricia Carneiro et. al., 2009; Peggy Lai et. al., 2013; Liaqat Iram et. al., 2010). Dada la magnitud de empleo que genera la industria textil a

nivel mundial, la salud de numerosos trabajadores textiles se ve afectada por la exposición a estos químicos y colorantes. (Ben Mansour et. al., 2012). Por ejemplo, los tintes azoicos representan aproximadamente la mitad de la producción mundial de tintes y constituyen una fuente importante de contaminación. La descarga de estos compuestos en el ambiente es indeseable no solo por razones estéticas, sino también porque muchos tintes azoicos y sus productos de descomposición han sido identificados como tóxicos para la vida acuática y mutagénicos para los seres humanos (Gisele Augusto Rodrigues De Oliveira et. al., 2010).

Como conclusión, los colorantes textiles tradicionales representan una problemática multifacética e impactan en toda la cadena del proceso textil, desde su producción al uso, generando múltiples retos ambientales y a la salud humana.

Las limitaciones de los colorantes naturales

En la búsqueda de opciones más sostenibles a los colorantes sintéticos, los colorantes naturales han sido una alternativa atractiva. Los tintes naturales se consideran ecológicos ya que son biodegradables y pueden proporcionar beneficios para la salud del usuario. Típicamente los colorantes naturales son derivados vegetales, sin embargo, aunque amigables con el ambiente, estos colorantes presentan importantes limitaciones en términos de escalabilidad y rendimiento (Sujata Saxena, 2014).

En primer lugar, la fabricación de colorantes vegetales a escala industrial es un gran desafío, incluso equiparable o superior a los colorantes derivados del petróleo. Inicialmente, la disponibilidad de las plantas puede estar limitada por factores genéticos, estacionales y/o geográficos. La expansión de cultivos de estas plantas requeriría vastas extensiones de tierra, grandes volúmenes de agua y fertilizantes, recursos normalmente destinados a la producción de alimentos. En este contexto, competir por recursos con la producción de alimentos para satisfacer la demanda industrial de colorantes textiles plantea grandes desafíos prácticos.

Los colorantes vegetales se extraen de diferentes partes de las plantas, incluyendo corteza, hoja, raíz, frutos, semillas y flores. En consecuencia, la extracción de pigmentos de las plantas suele ser un proceso variado e intensivo en mano de obra (Hill D. J., 1997). Usualmente, el rendimiento en la fabricación y extracción de colorantes es muy bajo, resultando en un producto de alto costo para el mercado textil.

Por otro lado, los colorantes naturales exhiben un rendimiento inferior en su aplicación textil, es decir una menor capacidad de tinción en comparación con sus homólogos sintéticos. Esto se traduce en colores menos vibrantes, un rendimiento inconsistente y, en ocasiones, baja resistencia al lavado, luz solar y desgaste físico una vez fijados a la prenda textil (Masoud Kasiri, 2014). Además, al igual que los sintéticos, los colorantes vegetales requieren el uso de anexos químicos, por ejemplo mordientes para fijar el color al tejido. Algunos mordientes tradicionales utilizados en teñido son objeto de cuestionamiento ambiental, ya que si bien son relativamente inocuos para el ser humano, su liberación en efluentes textiles puede resultar en cursos de aguas altamente tóxicos para el ecosistema acuático. Por ende, a pesar de su origen natural, los colorantes vegetales no pueden considerarse totalmente inofensivos en la actividad tintórea y deben someterse, al igual que un colorante sintético, al cumplimiento de las regulaciones apropiadas para su aplicación textil (Hill D. J., 1997).

En conclusión, los colorantes vegetales no pueden sustituir por completo a los sintéticos en la industria textil. La fabricación y aplicación de colorantes vegetales plantean desafíos ambientales y de salud que no deben pasarse por alto. No obstante, esto no descarta su uso en casos específicos que cumplan con las necesidades de determinados fabricantes textiles. Por ello, se necesitan avances tecnológicos significativos tanto en la agricultura como en la ingeniería textil para que puedan ser una alternativa integral y suplantarse de manera efectiva a los colorantes sintéticos.

## **Transformando la industria textil hacia la sostenibilidad**

En la búsqueda incansable de soluciones a la problemática ambiental textil, la industria está atravesando un intento de cambio drástico hacia la sostenibilidad mediante diversas alternativas innovadoras. Desde técnicas de teñido que reducen drásticamente el consumo de agua hasta esfuerzos para circularizar productos textiles y adoptar procesos de fabricación más eficientes, la vanguardia de la sostenibilidad está marcando pauta en la moda actual.

Como mencioné previamente, la tintorería es el proceso de mayor impacto ambiental en la cadena de producción textil, y es aquí donde la gran mayoría de las alternativas sostenibles buscan redefinir el panorama. Estas innovaciones no solo buscan desafiar las prácticas convencionales, sino también abordar directamente los desafíos ambientales asociados con la tinción de textiles (Livia Lara et. al., 2022).

Tecnologías emergentes como el uso de plasma y CO<sub>2</sub> supercrítico buscan cambiar las reglas del juego al reducir drásticamente el consumo de agua en comparación con métodos tradicionales. Estas técnicas de tinción prometen disminuir la necesidad de grandes volúmenes de agua y, por ende, el desperdicio asociado a la tinción de fibras textiles (Andrea Zille et. al., 2015; Faqeer Mohammad, 2014). Por ejemplo, el teñido con CO<sub>2</sub> supercrítico es un proceso que no requiere agua, mostrando una alta tasa de teñido en poliéster, nailon, algodón, lana, seda y otros tejidos, sin requerir auxiliares químicos y sin generar efluentes acuosos. Por ello, es una alternativa ecológicamente atractiva a los métodos húmedos convencionales utilizados en la industria textil (Wolfgang Saus et. al., 1993).

El reemplazo de solventes químicos tóxicos por enzimas de origen biológico puede marcar otro hito en la sostenibilidad de la tintorería. Las enzimas han sido ampliamente aceptadas en varias industrias debido a la alta afinidad para actuar en diferentes sustratos y su origen químico sustentable. En textil, las enzimas pueden utilizarse en diferentes etapas de la cadena de producción, por ejemplo, en el pretratamiento de las fibras textiles para la tinción húmeda. Para lograr una coloración óptima, las fibras se someten a un tratamiento químico de limpieza donde se emplean químicos usualmente tóxicos y contaminantes, los cuales al final forman parte de los efluentes textiles generados. Al aprovechar la naturaleza biodegradable de las enzimas, se elimina la amenaza de productos químicos nocivos en el pretratamiento de las fibras y por ende, en los desechos derivados de la tinción, al tiempo que se preserva la calidad y durabilidad de los colores en las prendas (Stefane V. Besegatto et. al., 2018; Jinsong Shen, 2015).

La biorremediación, un proceso que utiliza microorganismos para eliminar contaminantes, busca contribuir en la minimización de la carga tóxica de los desechos textiles (Palaniavelan Ramachandran et. al., 2013). Distintos casos, entre ellos el empleo de bacterias como *Citrobacter sp.*, han demostrado eficacia al degradar colorantes azoicos mediante procesos de adsorción (Moon-Sun Jang et. al., 2007).

Si bien ejemplos como las innovaciones tecnológicas mencionadas representan avances significativos hacia la sostenibilidad de la industria, es importante reconocer que estas soluciones no eliminan la dependencia de los colorantes sintéticos. Es aquí donde la necesidad de desarrollar materiales de tinción alternativos se torna imperativa. Se requiere la confluencia de tecnologías de tintura y materiales sostenibles para ofrecer una solución completa que redefina la moda desde su origen hasta su expresión final en cada prenda.

Rediseñando el color en Protiva Bioinks

En el panorama de la búsqueda de alternativas sostenibles a los colorantes sintéticos, en Protiva Bioinks, una startup de biotecnología con base en Argentina, identificamos un enfoque escalable y de alto rendimiento para el desarrollo de colorantes naturales. En Protiva usamos microorganismos únicos como fábricas muy eficientes de colorantes textiles o *bioinks*, buscando transformar no sólo la forma en que coloreamos nuestras prendas, sino también la sostenibilidad misma de toda la cadena de producción textil.

En esencia, nuestros microorganismos especializados actúan como pequeñas fábricas biológicas, produciendo colorantes textiles de manera natural. Este enfoque no solo elimina la dependencia de derivados del petróleo, comunes en colorantes sintéticos, sino que también logramos altos índices de productividad, permitiéndonos producir colorantes naturales a escala industrial, en un entorno reducido y de bajo costo, a diferencia de los colorantes vegetales.

La biotecnología no solo nos ayuda a fabricar biotintes, sino también a diseñar fórmulas de aplicación, recetas sustentables para adaptar los bioinks a cualquier tipo de aplicación textil. Estas recetas contienen ingredientes químicos seguros y biodegradables, y detallan el proceso paso a paso para lograr resultados eficientes de manera predecible. Con ello, nuestro propósito es minimizar el consumo de agua y químicos nocivos en la aplicación de nuestros colorantes, sin sacrificar eficiencia. En este sentido logramos que los colorantes naturales cumplan y superen los estándares esenciales de la industria, limitaciones observadas en los colorantes vegetales.

A medida que en Protiva y otras organizaciones exploramos y perfeccionamos este tipo de tecnologías, queda claro que la colaboración y la innovación continuarán desempeñando un papel fundamental en la construcción de un futuro más sostenible para la moda y la industria textil en su conjunto. El camino hacia una industria textil más sostenible no solo requiere de ingenio y descubrimientos científicos, sino también de un esfuerzo colectivo. La colaboración entre instituciones, investigadores y líderes de la industria es esencial para superar los desafíos que aún nos separan de una completa transición hacia prácticas más sostenibles. Es un compromiso que implica la apertura a nuevas ideas, el tiempo necesario para que estas innovaciones maduren y el apoyo continuo de todas las partes involucradas. En este empeño conjunto, vislumbramos un futuro donde la moda no solo sea sinónimo de estilo, sino también de sostenibilidad.

## Referencias bibliográficas

- Ben Mansour H. et al. "Alteration of in vitro and acute in vivo toxicity of textile dyeing wastewater after chemical and biological remediation". *Environmental science and pollution research international* 19 (2012): 2634-2643.
- Besegatto, S. V., Costa, F. N., Damas, M. S. P., Colombi, B. L., De Rossi, A. C., de Aguiar, C. R. L., & Immich, A. P. S. Enzyme treatment at different stages of textile processing: a review. *Industrial Biotechnology*, 14.6 (2018), 298-307.
- Carneiro P. A. et al. "Assessment of water contamination caused by a mutagenic textile effluent/dyehouse effluent bearing disperse dyes". *Journal of Hazardous Materials*, 174 (2010): 694-699.
- Chequer, F. D., et al. "Textile dyes: dyeing process and environmental impact". *Eco-friendly textile dyeing and finishing* 6. 6 (2013): 151-176.
- Hill, D. J. Is there a future for natural dyes? *Review of Progress in Coloration and Related Topics*, 27.1 (1997): 18-25.
- Iram, Liaqat. et al. "Changes in selected blood biochemical components of industrial workers occupationally exposed to textile dyes: a preliminary study". *Pakistan Journal of Zoology*, 41 (2008): 65-69.
- Islam, S. & Mohammad, F. "Emerging Green Technologies and Environment Friendly Products for Sustainable Textiles". In *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing, Textile Science and Clothing Technology*; Muthu, S.S., Ed.; Springer: Singapore, 2014.
- Jang, M. S., Jung, B. G., Sung, N. C., & Lee, Y. C. Decolorization of textile plant effluent by *Citrobacter* sp. strain KCTC 18061P. *The Journal of general and applied microbiology*, 53.6 (2007), 339-343.
- Kant, R. "Textile dyeing industry: an environmental hazard". *Natural Science* 4 (2012): 22-26. Zaruma, Pablo, et al. "Los colorantes textiles industriales y tratamientos óptimos de sus efluentes de agua residual: una breve revisión." *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas* 19 (2018): 38-47.
- Kasiri, M. B. & Siyamak S. "Natural dyes and antimicrobials for green treatment of textiles." *Environmental chemistry letters* 12.1 (2014): 1-13.
- Lai, Peggy S., and David C. Christiani. "Long term respiratory health effects in textile workers." *Current opinion in pulmonary medicine* 19.2 (2013): 152.
- Lara, L., Cabral, I., & Cunha, J. Ecological approaches to textile dyeing: a review. *Sustainability*, 14.14 (2022), 8353.
- Oliveira G. A. R. et al. "Chlorination treatment of aqueous samples reduces, but does not eliminate, the mutagenic effect of the azo dyes Disperse Red 1, Disperse Red 13 and Disperse Orange 1". *Mutation Research* 703 (2010): 200-208.
- Ramachandran, P., Sundharam, R., Palaniyappan, J., & Munusamy, A. P. Potential process implicated in bioremediation of textile effluents: a review. *Adv Appl Sci Res*, 4.1 (2013), 131-145.
- Saus W, Knittel D, Schollmeyer E. Dyeing of textiles in supercritical carbon dioxide. *Text Res J* 63 (1993):135-142

- Saxena, S. & A. S. M. Raja. "Natural dyes: sources, chemistry, application and sustainability issues." Roadmap to sustainable textiles and clothing: eco-friendly raw materials, technologies, and processing methods. Singapore: Springer Singapore, 2014. 37-80.
- Shen, J.; Smith, E. Enzymatic treatments for sustainable textile processing. In Sustainable Apparel—Production, Processing and Recycling; Blacknurn, R., Ed.; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2015; pp. 119–133.
- Zille, A.; Oliveira, F.R.; Souto, A.P. Plasma treatment in textile industry. Plasma Process. Polym. 2014, 12, 98–131.

---

**Abstract:** Delving into the intricate textile chain, we reveal the environmental impact of dyeing textile fibers and the limitations of commercial synthetic dyes. We present emerging technological advances, from eco-friendly staining techniques to Protiva bioinks, natural, high-performance dyes. We emphasize the importance of collaboration on this path towards more conscious fashion, committing to redesign color and the future of fashion.

**Keywords:** Sustainable fashion - textile dyes - Protiva - textile industry - environmental impact

**Resumo:** Investigando a intrincada cadeia têxtil, revelamos o impacto ambiental do tingimento de fibras têxteis e as limitações dos corantes sintéticos comerciais. Apresentamos avanços tecnológicos emergentes, desde técnicas de coloração ecológicas até biotintas Protiva, corantes naturais de alto desempenho. Ressaltamos a importância da colaboração neste caminho rumo a uma moda mais consciente, comprometendo-se com o redesenho da cor e do futuro da moda.

**Palavras chave:** Moda sustentável - corantes têxteis - Protiva - indústria têxtil - impacto ambiental

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]

---