



Director académico: María Ángeles Freire Picos

MEMORIA DO TRABALLO DE FIN DE GRAO

Grao En Bioloxía

Revisión bibliográfica:
Aplicaciones
biotecnológicas en la
industria textil

Revisión bibliográfica:
Aplicacións
biotecnolóxicas na
industria textil

Literature review:
Biotechnological
applications in textil
industry

Clara Valderruten Cordero

Diciembre, 2021



M^a ANGELES FREIRE PICOS, PROFESORA TITULAR DE BIOQUÍMICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR DEL DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA EN LA UNIVERSIDADE DA CORUÑA

INFORMA

QUE EL PRESENTE TRABAJO FIN DE GRADO PRESENTADO POR LA ALUMNA Clara Valderruten Cordero TITULADO:

Revisión bibliográfica: Aplicaciones biotecnológicas en la industria textil

Revisión bibliográfica: Aplicacións biotecnolóxicas na industria textil

Literature review: Biotechnological applications in textil industry

Ha sido realizado bajo mi dirección y autorizo su presentación para que pueda ser juzgado por el tribunal correspondiente.

Y para que conste firmo la presente en A Coruña a 10 de diciembre de 2021

Firmado digitalmente por
FREIRE PICOS MARIA ANGELES -
32760558W
Número de reconocimiento
DNU=4CE
SerialNumber=DCE:32760558
M. gonzalez=MARIA
ANGELES, ssn=FREIRE PICOS,
ANGELES - 32760558W
Fecha: 2021.12.10 11:26:24
+01'00'

M^a Angeles Freire Picos

ÍNDICE

1. Resumen/Resumo/Abstract.....	2
2. Palabras clave.....	2
3. Introducción.....	3
4. Objetivos.....	4
5. Metodología.....	4
6. Desarrollo del tema.....	4
4.1 Producción de fibras en la industria textil y su impacto medioambiental.....	4
4.2 La biotecnología blanca aplicada a industria textil.....	6
4.2.1 Producción de polímeros biodegradables.....	8
4.2.1.1 La celulosa bacteriana.....	8
4.2.1.2 Biopolímeros degradables sustitutos de los plásticos: Polihidroxicanoato (PHA) y ácido poliláctico (PLA).....	9
4.2.2 Producción de enzimas útiles en biotecnología textil.....	12
4.2.2.1 Ámbitos de aplicación.....	12
4.2.2.2 Aplicación de la biotecnología en los procesos de tinción.....	13
4.2.2.3 Degradación enzimática de la celulosa: la celulasa.....	15
4.2.2.4 Eliminación del peróxido de hidrógeno en el blanqueamiento: la catalasa	16
4.2.2.5 Desencolado textil: la amilasa.....	16
4.2.2.6 Biodescrudado de los productos textiles: las pectinasas, cutinasas y lipasas.....	17
7. Conclusiones.....	18
8. Bibliografía.....	19

Resumen

La contaminación medioambiental debida a la industria textil ha aumentado en las últimas décadas debido al incremento de demanda en el mundo de la moda. El desarrollo de nuevas técnicas de producción y tratamiento de residuos se ha vuelto uno de los principales objetivos de los investigadores para frenar esta contaminación. La mejora de técnicas biotecnológicas mediante ingeniería genética ha permitido desarrollar métodos para el tratamiento de residuos mediante enzimas como las celulasas, catalasas o amilasas y ha permitido sintetizar nuevos materiales biodegradables para la producción de textiles. Esta revisión bibliográfica trata de resumir la situación actual de la industria textil y las aplicaciones de la biotecnología en esta, teniendo en cuenta los beneficios y desventajas de su uso.

Resumo

A contaminación ambiental debida á industria téxtil ha aumentado nas últimas décadas debido ao incremento de demanda no mundo da moda. O desenvolvemento de novas técnicas de produción e tratamento de residuos volveuse un dos principais obxectivos dos investigadores para frear esta contaminación. A mellora de técnicas biotecnolóxicas mediante enxeñaría xenética permitiu desenvolver métodos para o tratamento de residuos mediante encimas como as celulasas, catalasas ou amilasas e permitiu sintetizar novos materiais biodegradables para a produción de téxtiles. Esta revisión bibliográfica trata de resumir a situación actual da industria téxtil e as aplicacións da biotecnoloxía nesta, tendo en conta os beneficios e desvantaxes do seu uso.

Abstract

Environmental pollution due to the textile industry has increased in the last decades due to the increasing demand in the fashion world. The development of new production and waste treatment techniques has become one of the main objectives of researchers to curb this pollution. The improvement of biotechnological techniques through genetic engineering has allowed the development of methods for waste treatment using enzymes such as cellulases, catalases or amylases and has made it possible to synthesize new biodegradable materials for the production of textiles. This bibliographic review attempts to summarize the current situation of the textile industry and the applications of biotechnology in this industry, taking into account the benefits and disadvantages of its use.

Palabras clave/ Key words

Textile industry, textile biotechnology, white biotechnology, biodegradation, biofabrics, textile fabrics, enzymatic degradation, bioplastics.

1. Introducción

La industria textil es uno de los sectores más contaminantes en la actualidad, debido al uso de materiales derivados del petróleo y a los procesos químicos requeridos para la producción masiva de materiales textiles además de los derivados de su posterior eliminación (Stanescu, M. D. 2021; Hu et al., 2018).

La producción de fibra textil a nivel mundial ha aumentado considerablemente durante las últimas décadas ya que en nuestra sociedad se produce un consumo excesivo de ropa, asociado además a descartar rápida e innecesariamente prendas que ya no están a la moda (Hu et al., 2018). El Informe de mercado de fibras y materiales preferidos (*Preferred Fiber & Materials Market Report*, PFMR) de 2020 reveló que la producción de fibras se ha duplicado en los últimos 20 años, aportando datos de que la producción mundial de fibras en 2019 alcanzó los 111 millones de toneladas, y se estima que, si la industria continúa desarrollándose como en la actualidad, en 2030 alcanzará los 146 millones de toneladas, aumentando un 30% (PFMR, 2020) (Figura 1).

Debido al alto crecimiento de la industria textil, los investigadores están constantemente buscando métodos más eficaces y menos contaminantes para conseguir, no sólo que esta industria prospere, sino también evitar su gran impacto negativo medioambiental. En los últimos años la biotecnología ha desempeñado un gran papel en la búsqueda de soluciones para este problema, especialmente el desarrollo de técnicas de ingeniería genética y enzimática, que ha permitido el uso de microorganismos para optimizar la producción de metabolitos nuevos o de importancia para el campo de la industria textil (Cavaco-Paulo, A, 2019). Uno de los principales objetivos de estos avances es conseguir acercarnos a una economía circular en la industria textil, que tenga en cuenta que los recursos naturales son finitos por lo que se basa en el uso y reciclaje de estos recursos creando un bucle donde los residuos generados sean mínimos o inexistentes (Ki et al., 2020).



Figura 1. Producción global de fibras a lo largo de los años en millones de toneladas (PFMR, 2020).

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo bibliográfico es llevar a cabo un estudio detallado y didáctico del desarrollo de la biotecnología aplicada a la industria textil, teniendo en cuenta su impacto medioambiental y considerando las ventajas e inconvenientes de los nuevos procedimientos.

3. Metodología

El procedimiento aplicado para la realización de este trabajo de fin de grado (TFG) fue una revisión bibliográfica, utilizando como herramientas las principales fuentes y bases de datos académicas: *PubMed*, *Medline*, *Science Direct*, *Scopus* y *ResearchGate*. Se aceptaron los artículos y documentos más relevantes publicados sobre el desarrollo de la biotecnología en la industria textil, dando mayor importancia a aquellos publicados en la última década. La búsqueda ha sido realizada principalmente en inglés y en castellano. Las palabras clave utilizadas para la búsqueda han sido una combinación de los siguientes términos: “*textile industry*”, “*textile biotechnology*”, “*white biotechnology*”, “*biodegradation*”, “*biofabrics*”, “*textile fabrics*”, “*enzymatic degradation*” y “*bioplastics*”.

4. Desarrollo del tema

4.1-Producción de fibras en la industria textil y su impacto medioambiental

Actualmente la mayor parte de la fibra producida se usa en la industria textil para la confección de prendas de vestir y textiles para el hogar. Los textiles utilizados están formados por fibras, polímeros lineales caracterizados por su pequeño diámetro, flexibilidad y gran longitud en comparación con su diámetro. Se pueden dividir en distintas clases dependiendo de su origen (Figura 2),

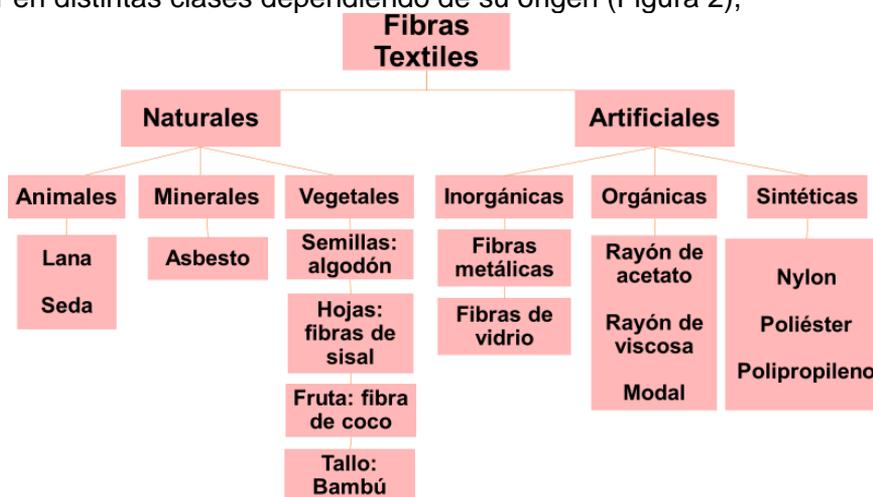


Figura 2. Clasificación de las fibras textiles dependiendo de su origen (modificado de Eichhorn et al., 2009).

- **Fibras naturales:** como su nombre indica son de origen natural. Estas pueden agruparse en tres subclases:
 - Fibras animales: son fibras principalmente proteicas obtenidas de animales. Un ejemplo sería el pelo, la lana o las sedas de origen animal.
 - Fibras vegetales: son fibras con una base celulósica obtenidas de distintas partes u órganos de las plantas como pueden ser las semillas o las hojas. Son las mismas fibras que se utilizan para la fabricación de papel. Entre ellas encontramos por ejemplo el algodón.
 - Fibras minerales: son fibras formadas a partir de materiales inorgánicos. Un ejemplo de ellas son las fibras de asbesto, que en la industria textil solo se utiliza en la producción de materiales aislantes porque es cancerígeno y su inhalación puede provocar problemas respiratorios.
- **Fibras artificiales:** son fibras que requieren un proceso de fabricación, por lo que la estructura, composición química y propiedades del material base se ven modificadas. A su vez se clasifican en
 - Fibras orgánicas: formadas por polímeros naturales de cadena larga, que son modificados y parcialmente degradados para permitir su polimerización y formación de fibras. Un ejemplo de ellas son las fibras de viscosa.
 - Fibras inorgánicas: también llamadas fibras metálicas, son fibras procedentes de metales dúctiles como el cobre, la plata o el oro.
 - Fibras artificiales: son fibras formadas por productos provenientes del petróleo, como es el caso del poliéster, la poliamida y el nylon.

Debido al rápido cambio en el mundo de la moda, además de aumentar la producción de fibras, la cantidad de desechos producidos también ha aumentado, llegando a cifras de 92 millones de toneladas de productos textiles desechados en 2015, con una predicción de un aumento de este número a 148 millones de toneladas para 2030 (Stanescu, 2021).

Las fibras más utilizadas en productos textiles en la actualidad son el algodón, compuesto principalmente por celulosa, y el poliéster, como se puede observar en la Figura 3. Aproximadamente un 35-40% de los desechos de esta industria están compuestos por algodón (Shen et al., 2013).

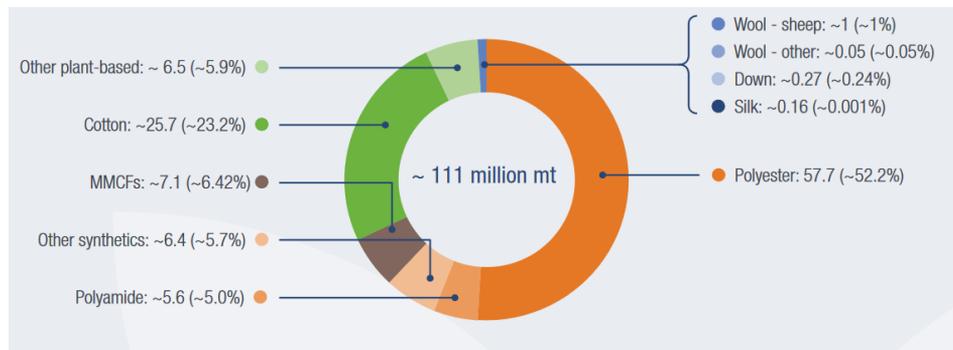


Figura 3. Producción global de fibras textiles en 2019 en millones de toneladas (mt) y porcentaje (tomado de PFMR, 2020).

También ha aumentado en los últimos años el uso de fibras sintéticas, lo que por un lado causa que la vida útil de los productos textiles se haya visto reducida y por otro lado, el incremento en la producción de fibras en general ha provocado grandes impactos negativos en el medio ambiente debido al uso de pesticidas y químicos contaminantes (como los tintes), al gran consumo de energía, contaminación de aguas durante la producción y a la gran cantidad de residuos generados. (Mazotto et al., 2021).

El desarrollo de la biotecnología, especialmente de la biotecnología enzimática, ha demostrado ser muy rentable en la industria textil, tanto para la reutilización y tratamiento de residuos como para el diseño y desarrollo de nuevos materiales textiles, y se prevé su aplicación a gran escala en los próximos años (Cavaco-Paulo, 2019).

4.2 La biotecnología blanca aplicada a la industria textil

La biotecnología es la rama de la ciencia que fue definida por La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD) como “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a sus partes, productos y modelos, para alterar materiales vivos o no vivos para la producción de conocimientos, bienes y servicios”.

Esta ciencia fue clasificada en diez disciplinas por DaSilvia (2004) ([Tabla 1](#)). A cada una se le asignó un color dependiendo del área en el que se aplique. De entre las diez áreas de la biotecnología principalmente se habla de estas cuatro, ya que son las que están en mayor auge:

- **Biología verde:** aplicada al desarrollo de la agricultura para aumentar la producción con un menor consumo energético y un menor impacto en el medio ambiente (Kafarski, 2012).
- **Biología azul:** biotecnología marina que involucran recursos biológicos marinos, ya sea como fuente o como objetivo de las aplicaciones de la biotecnología (Marine Board, 2010).
- **Biología roja:** aplicada a servicios sanitarios y farmacéutica, así como para el descubrimiento de nuevas drogas y la producción de vacunas y antibióticos (Sasson A, 2005).

- **Biotecnología blanca:** consiste en el uso de biocatalizadores en procesos industriales. Se aplica en industria farmacéutica, química, cosmética, de papel, textil... (Kafarski, 2012, Radhakrishnan, 2014). En ella centraremos nuestro trabajo.

Roja	Sanidad, medicina, diagnósticos
Amarilla	Biotecnología de los alimentos, nutrición
Azul	Acuicultura, biotecnología marina y costera
Verde	Agricultura, biotecnología medioambiental, biofertilizantes, biorremediación
Marrón	Biotecnología de zonas áridas y desiertos
Negro	Bioterrorismo, guerra biológica
Morado	Investigaciones, patentes, publicaciones, IPRs
Blanco	Producción industrial
Dorado	Bioinformática, nanobiotecnología
Gris	Biodiversidad, conservación y restauración del medio ambiente

Tabla 1. Clasificación de las distintas disciplinas de la biotecnología (modificado de DaSilva, 2004).

La biotecnología aplicada a la industria textil se engloba por tanto en la biotecnología blanca, puesto que ésta se centra en la producción industrial de materiales, químicos y energía a través de procesos biológicos mediante enzimas o células vivas como hongos, bacterias, plantas o levaduras es la biotecnología blanca (Radhakrishnan, 2014; Kafarski, 2012).

Esta área es considerada una de las ramas más amplias de la biotecnología y sus principales objetivos son:

- Remplazamiento de los procesos industriales tradicionales por procesos llevados a cabo por biocatalizadores.
- Producción de polímeros biodegradables.
- Producción de energía a partir de fuentes renovables o microorganismos fotosintetizadores.
- Producción de enzimas útiles y cultivo de microorganismos.

4.2.1 Producción de polímeros biodegradables

Debido al problema producido por el aumento de residuos, uno de los principales objetivos de la industria textil es el uso de materiales biodegradables que puedan ser producidos por fuentes renovables.

El algodón es una de las fibras más utilizadas en la industria textil y está compuesta principalmente por celulosa (96% de celulosa). Sin embargo, durante su cultivo se utiliza una gran cantidad de nutrientes y pesticidas para poder aumentar su producción y calidad, estimándose que un 25% de los pesticidas globales están destinados para este tipo de cultivo. Otro problema del algodón

es que es uno de los cultivos que más agua utiliza, alcanzando los 4029 m³ por tonelada (Kazan et al., 2020).

Para mejorar la eficacia de estos cultivos, se han desarrollado dos métodos biotecnológicos: por una parte, se puede desarrollar una mayor resistencia a insectos y enfermedades mediante ingeniería genética y así reducir el uso de pesticidas. Por otra parte, se pueden modificar las propiedades de las fibras de algodón para que estas tengan mayor longitud, resistencia y coloración para que puedan reutilizarse más fácilmente (Antony, 2018).

La celulosa de origen bacteriano

Como alternativa al cultivo masivo del algodón, la biotecnología nos ha dado otra alternativa: la celulosa bacteriana. Esta alternativa es más viable debido a su capacidad de reducir los desechos en grandes cantidades y ser considerado un material que respeta el medio ambiente, ya que requiere cantidades de agua y energía relativamente menores (Camere & Karana, 2018; Kaminski et al., 2020). Debido a que después de la preparación y secado de materiales textiles de esta celulosa se parece al cuero, resulta muy útil en la industria textil, tanto para ropa como para calzado y accesorios (Camere & Karana, 2018).

Este tipo de celulosa de origen bacteriano, al contrario de las fibras celulósicas utilizadas tradicionalmente que son de origen vegetal, no presenta otros polisacáridos contaminantes como la lignina o la hemicelulosa y se caracteriza por presentar una mayor pureza y cristalización (Hong and Qiu, 2008). Además, otra ventaja de este tipo de celulosa es que no está limitada a una región o condiciones concretas para su cultivo. Esta celulosa se utiliza actualmente en distintos materiales como productos de cosmética, telas de fibra que absorban gases tóxicos, vendas para la cicatrización de heridas, etc. (BPRI, 2006).

La principal bacteria utilizada para la producción de celulosa es *Acetobacter xylinum* debido a que produce celulosa como un polisacárido extracelular en grandes cantidades, lo que hace que sea viable para su uso industrial (Cheng et al., 2017).

Otra posible forma de obtener celulosa bacteriana es mediante la fermentación producida por una colonia simbiótica de bacteria y levadura SCOBY (acrónimo de Symbiotic Culture of Bacterial and Yeast) conocida comúnmente como kombucha (Kaminski et al., 2020).

En la siguiente imagen (Figura 4) se puede observar la diferencia entre la descomposición de los textiles tradicionales, especialmente aquellos formados por fibras sintéticas que tienen un tiempo de degradación muy largo, y la de textiles de celulosa bacteriana, de descomposición rápida.

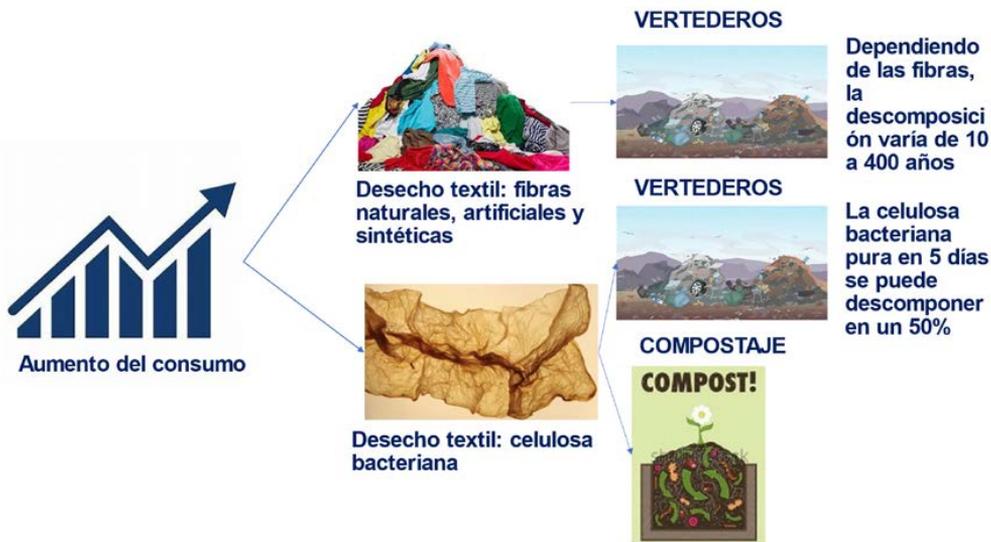


Figura 4. Diferencias en la degradación de textiles de fibras naturales, artificiales y sintéticas contra la degradación de celulosa bacteriana (modificado de Provin., 2021).

A pesar de las ventajas de esta fibra, todavía es necesario llevar a cabo más estudios sobre la aplicabilidad de la celulosa bacteriana en la industria textil para que su uso sea eficaz a escala industrial y comercial, ya que su alta velocidad de degradación también puede afectar a la vida del producto textil compuesto por esta celulosa (Nemet et al., 2016).

Biopolímeros degradables sustitutos de los plásticos: Polihidroxialcanoato (PHA) y ácido poliláctico (PLA)

Uno de los productos más contaminantes actualmente utilizados son los plásticos, polímeros sintéticos derivados del petróleo que permanecen en el medio durante largos periodos de tiempo debido a su resistencia a la degradación microbiana, afectando en gran medida a los ecosistemas (González et al., 2013). Esto se debe a sus altas producciones, ya que se utiliza en todo tipo de industrias, convirtiéndose en la base de la mayoría de los productos de consumo (Grados et al., 2008). La industria textil utiliza también grandes cantidades de plásticos, tanto para el transporte como para la producción de fibras, como el poliéster que correspondió al 57,7% de la producción de fibras global de 2019 (Figura 3; PFMR, 2020).

Por esto en los últimos años se ha propuesto la idea de utilización de bioplásticos como sustituto de los plásticos derivados del petróleo, ya que pueden producirse a partir de fuentes renovables. De acuerdo con *European Bioplastics* (2020), la asociación europea de fabricantes y usuarios de bioplásticos y polímeros biodegradables, los bioplásticos deben de presentar una de las siguientes características o ambas:

- Polímeros sintetizados mediante un recurso renovable.

- Polímero biodegradable que cumplen todos los criterios de las normas reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de plásticos recogidas en la norma EN 13432.

En la tabla 2 se recogen algunos bioplásticos con sus principales características y propiedades.

Bioplásticos	Biobasado	Biodegradable	Propiedades	Observaciones
Ácido poliláctico PLA	✓	✓	• Similares a las del PET, aunque con menor resistencia a la temperatura	• Generalmente se fabrica a partir de maíz • Uno de los bioplásticos más usados
Biopolietileno Bio-PE	✓	✗	• Idénticas a las del polietileno convencional	• Generalmente se fabrica a partir de la caña de azúcar, con bioetanol como producto intermedio
Policaprolactonas PCL	✗	✓	• Resistente al agua, aceites, solventes y cloros	• Se emplea en la fabricación de poliuretanos
Polihidroxialcanoatos PHA	✓	✓	• Dependientes del polímero específico • Muy sensibles a las condiciones de procesamiento-	• Se extraen de las células de plantas y microorganismos • Su costo es hasta diez veces mayor al de los plásticos convencionales

Tabla 2. Lista de algunos de los bioplásticos más utilizados y sus características y propiedades (Modificado de Vazquez et al., 2016).

A pesar de que estos biopolímeros no son nuevos, en la última década ha aumentado considerablemente el interés por su uso, ya que actualmente el 65% de la producción de bioplásticos está destinado a embalaje y transporte (Vazquez et al., 2016). El desarrollo de la biotecnología ha ayudado a la producción de alguno de estos bioplásticos y solo unos pocos se comercializan y producen a nivel industrial.

Los polihidroxialcanoatos (PHA) son poliésteres naturales producidos en la naturaleza son un ejemplo de estos, ya que son sintetizados por microorganismos mediante fermentación, son biodegradables y presentan características físicas similares a las de los plásticos derivados del petróleo, como el polietileno (González et al., 2013; Kaminski et al., 2020). Están constituidos por unidades de ácidos hidroxialcanoicos, mediante la unión por un enlace éster del grupo carboxilo de un monómero con el grupo hidroxilo del siguiente y se acumulan en el citoplasma en gránulos de PHA (Delgado & Cordoba, 2015). En la figura 5A se muestra la unidad básica que se repite.

El problema de los bioplásticos basados en PHA es que su precio todavía es demasiado alto para su uso comercial, llegando a los 16 euros por kilogramo (Pérez et al., 2007).

Otro ejemplo de bioplásticos el ácido poliláctico (PLA), producido a partir de ácido láctico obtenido de la fermentación del almidón de plantas como el maíz (Radhakrishnan, 2014; Figura 5B). Debido a su inestabilidad en condiciones húmedas, este material se utiliza principalmente en el sector del envase y embalaje, suponiendo actualmente el 70% del consumo de PLA, y en biomedicina por sus propiedades biodegradables (Pérez et al., 2007).

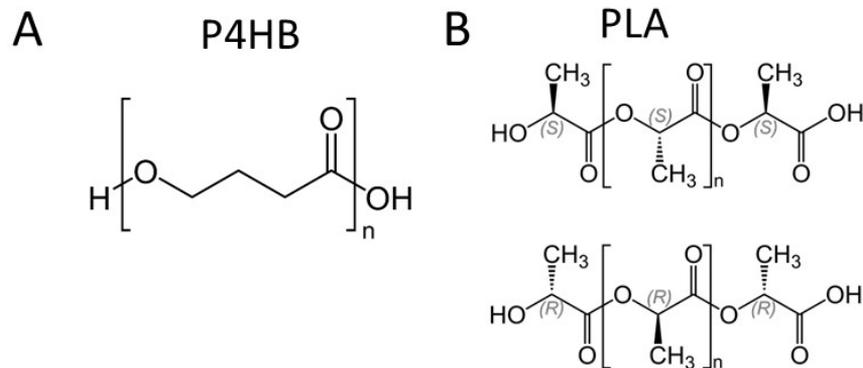


Figura 5. Estructura básica de PHA (A) y de PLA (B). *n*: unidad que se repite en el polímero (Williamns Martin, 2016).

También se utiliza en menor medida en la producción de fibras, cuyas propiedades son similares a las fibras de nylon y poliéster, para productos como alfombras, ropa de cama, tapicerías y tejidos industriales (Pérez et al., 2007). Existen distintos proyectos surgidos en los últimos años, como FIBFAB PROJECT presentado en 2017, que pretenden industrializar la producción de telas sintetizadas con PLA o telas mixtas de PLA y algodón o lana en la industria de la moda como sustituto de las fibras de poliéster que dominan esta industria, pero este proyecto todavía está en desarrollo. Los principales objetivos de este proyecto son:

- Obtener un producto final de vestimenta 100% biológico y biodegradable.
- Mejorar el proceso de extrusión de fibras de PLA.
- Mejorar la resistencia térmica de las fibras de PLA a una temperatura mayor de 100 °C.
- Reducir la dependencia de la industria textil de Asia y aumentar la competitividad del sector.

Hay que tener en cuenta que, a pesar del lado positivo de utilizar materiales biodegradables para la confección de fibras, estos también tienen sus lados negativos (Bezirhan & Bilgen, 2015):

- Altos precios: aunque se espera que en un futuro el precio de los bioplásticos disminuya, actualmente su precio es el doble o triple de un plástico derivado del petróleo.
- Problemas de reciclaje: si no se separa correctamente los bioplásticos de los plásticos convencionales, los procesos de reciclaje pueden verse contaminados ya que los procesos utilizados para reciclar no son los mismos.
- El uso de materia natural: el cultivo de plantaciones para bioplásticos supondría competir con el cultivo agrario por alimento, además de que esta agricultura intensiva para producir plásticos supone una elevada huella hídrica.
- Reducción de la vida media de productos: la vida media de algunos bioplásticos es limitada, lo cual limita en gran medida sus aplicaciones.

4.2.2 Producción de enzimas útiles en biotecnología textil

Ámbitos de aplicación

Debido a su acción específica sobre el sustrato, el uso de enzimas en procesos industriales es mundialmente aceptado, para el tratamiento de desechos textiles. Estas enzimas son biocatalizadores proteicos producidos por seres vivos que permiten o aumentan la velocidad de reacciones químicas disminuyendo la energía de activación y su acción específica les permite actuar únicamente sobre el sustrato, que en este caso serían las fibras de los productos textiles (Radhakrishnan, 2014).

En la industria textil las enzimas son especialmente reconocidas por su capacidad de sustituir procesos que necesitaban uso de químicos contaminantes y altos consumos de energía y agua. Sin embargo, el mayor problema del uso de enzimas como biocatalizadores son los altos precios e inestabilidad, ya que necesitan unas condiciones específicas para que su actividad sea óptima (Binod et al., 2013).

Para mejorar su eficacia se puede modificar las condiciones del proceso para adecuarlas a las condiciones óptimas de la actividad enzimática (pH, temperatura...) o se pueden utilizar métodos de ingeniería de proteínas para generar nuevos biocatalizadores que funcionen en otras condiciones, sin embargo, el uso de estos métodos aplicados a la industria debido a sus altos precios no es una alternativa viable (Binod et al., 2013).

Una alternativa económica para el uso de enzimas en industria es inmovilizar el biocatalizador, es decir, unir el biocatalizador (ya sea la célula o únicamente la enzima) a un soporte inerte a través de la cual pasa la solución de sustrato que sale transformado en producto (Arroyo, 1998). Esto facilita la reutilización de las enzimas y aumenta su estabilidad, además de que permite una operación en continuo evitando que el producto contenga restos de biocatalizador, haciendo más viable el uso de enzimas fijadas como biocatalizadores en procesos industriales. (Datta et al., 2012; Arroyo, 1998; Radhakrishnan, 2014).

De esta forma, las enzimas fijadas que catalizan la descomposición de los polímeros en monómeros pueden usarse para procesar los desechos textiles. Entre las enzimas que se producen para uso industrial nos encontramos: celulasas, amilasas, pectinasas, catalasas, proteasas, lacasas, cutinasas, lipasas, etc.

Existen también enzimas capaces de hidrolizar fibras sintéticas artificiales como el poliéster, como las cutinasas o las lipasas, pero el problema con estas enzimas es su bajo rendimiento, ya que no pueden penetrar en el material por lo tanto la hidrólisis ocurre en la superficie, limitando la velocidad de la reacción, lo que aumenta su precio en gran medida y hace que actualmente el reciclaje de este tipo de fibras mediante métodos biotecnológicos no sea rentable o factible a escala industrial (Shi et al., 2020).

En la siguiente Tabla 3 se reúnen algunas de las ventajas y desventajas que tiene el uso y producción de enzimas a escala industrial para el procesado de productos textiles y tratamiento de los deshechos que esta genera (Araújo, et al., 2008; Mojsov, 2011).

Ventajas del uso de enzimas	Desventajas del uso de enzimas
Disminuye el uso de productos químicos contaminantes, los gastos energéticos y el malgasto de agua	Se necesita un mantenimiento riguroso de las condiciones: pH, temperatura...
Causa pocos daños en las fibras por lo que permiten que sean reutilizadas	Algunas enzimas tienen un coste de producción alto
Disminuye los riesgos de los trabajadores al sustituir productos químicos por enzimas	Altos costes para el mantenimiento de las condiciones óptimas

Tabla 3. Ventajas y desventajas del uso de enzimas para el procesado o degradación de productos textiles (Modificado de Araújo, et al., 2008; Mojsov, 2011).

Aplicación de la biotecnología en los procesos de tinción

Otro ejemplo de aplicación de métodos biotecnológicos a la industria de la moda es en la tinción de prendas *denim* (tejido vaquero). El índigo es el tinte que se utiliza en estas prendas, el cual puede cambiar entre dos formas químicas la forma reducida o leucoíndigo (soluble en agua) y la oxidada o indigo (insoluble en agua), por lo que tradicionalmente se utilizan dos procesos químicos para poder fijar el colorante, ya que este por sí solo no puede fijarse al no ser soluble:

- Proceso de reducción: se convierte el índigo en soluble (leucoíndigo) para que la fibra lo absorba.
- Una vez en ella, se invierte el proceso mediante una oxidación, volviéndolo insoluble de nuevo, lo que garantizará que no sea eliminado con los lavados.

Este procedimiento se conoce como tinción a la cuba, pero recientemente se ha publicado una alternativa para la aplicación de este color gracias a bacterias modificadas genéticamente, de forma que el precursor del índigo, el indoxilo, se combine con glucosa y se almacene como una molécula incolora (Hsu et al., 2018) (Figura 6).

La alternativa consiste en hacer que *E. coli*, mediante ingeniería genética, secrete esta molécula incolora formada de la combinación de la glucosa con el indoxilo (Figura 6):

- Se genera la molécula en el interior de *E. coli* gracias a la acción de una UDP-glicosiltransferasa que une el indoxilo con una molécula de glucosa.

- La molécula se disuelve en agua junto a una β -glucosidasa, que hidroliza la unión entre la glucosa y el indoxilo, por lo que el indoxilo al estar libre de nuevo se oxida a leucoíndigo espontáneamente.
- Al ser retirado del líquido reacciona con el oxígeno convirtiéndose en índigo de nuevo.

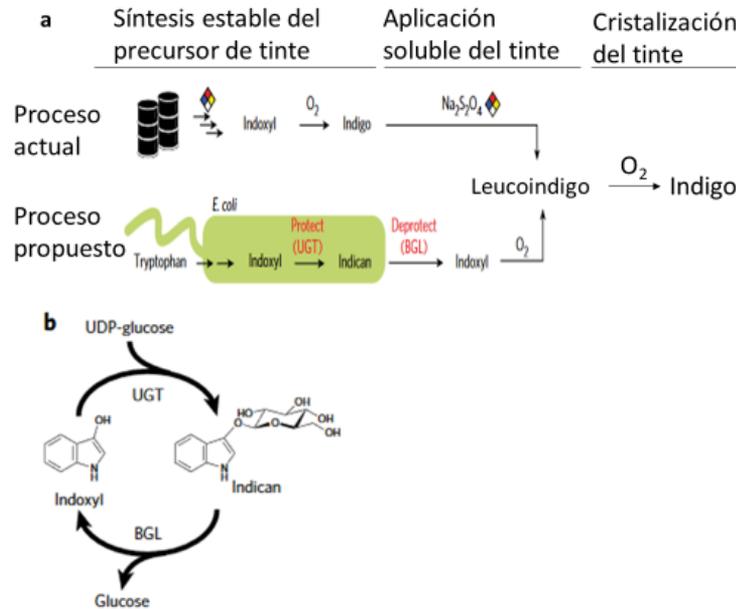


Figura 6. Comparación del proceso químico y biotecnológico de la tinción de las prendas denim, mediante el uso de BGL (β -glucosidasa) y UGT (UDP-glicosiltransferasa) (modificado de Hsu et al., 2018).

Así se consigue es eliminar la etapa contaminante de blanqueo que convierte el índigo a leucoíndigo y se evita la síntesis química masiva del índigo. El problema de este proceso es el alto coste económico debido a la enzima liberadora del indoxilo (β -glucosidasa), por lo que de momento no es viable este proceso en el ámbito industrial (Hsu et al., 2018).

Degradación enzimática de la celulosa: la celulasa

La celulasa es una de las enzimas más utilizadas en la industria textil para el procesamiento de productos textiles. Esta enzima es un complejo multienzimático involucrado en la hidrólisis de la celulosa sintetizada por hongos y bacterias capaz de procesar cadenas poliméricas largas muy rápidamente.

La hidrolización de la celulosa por la enzima se puede resumir en tres etapas:

- **Endo- β -1,4-glucanasa**, es la encargada de romper las cadenas de polímeros de celulosa al azar en regiones internas, rompiendo los enlaces β -1,4 glucosídicos que une las unidades de glucosa. Esto convierte las cadenas largas de celulosa en oligosacáridos (Ryu & Mandels, 1980).

- **Exo- β -1,4-glucanasa** rompe los oligosacáridos resultantes de las cadenas del polímero de la celulosa en moléculas de celobiosa desde los extremos (Ryu & Mandels, 1980).
- **β -1,4-glucosidasa** realiza la hidrólisis de la celobiosa, dando lugar a dos moléculas de glucosa (Ladisich et al., 1983).

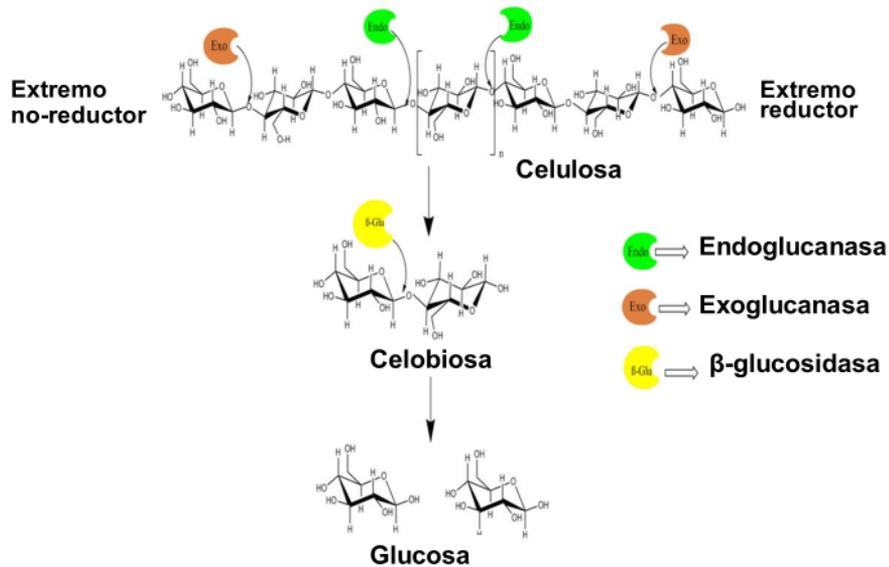


Figura 7. Acción del complejo multienzimático de la celulasa sobre la celulosa (Modificado de Sankarraj, 2017).

En 2018 Hu y colaboradores realizaron a cabo un estudio para demostrar y optimizar la acción hidrolítica sobre productos textiles. Para esto utilizaron enzimas producidas por el hongo *Aspergillus niger* para hidrolizar algodón, donde consiguieron optimizar la producción de celulasa un 88,7% y la actividad enzimática en un 25,8%, demostrando así su eficacia y viabilidad en procesos industriales (Hu et al., 2018).

Eliminación del peróxido de hidrógeno en el blanqueamiento: la catalasa

El blanqueamiento es el proceso para retirar la coloración natural del material. La calidad de la tinción depende de este paso. Tradicionalmente se utiliza peróxido de hidrógeno como blanqueador, sin embargo, al utilizar catalasas, éstas rompen el peróxido de hidrogeno en moléculas no reactivas (agua y oxígeno), reduciendo así el gasto en energía y el uso de agua que era necesario para el lavado del peróxido de hidrógeno (Amorium et al., 2002).

Desencolado textil: la amilasa

En cualquier tela tejida es necesario retirar el encolado completamente antes de aplicar tintes, proceso conocido como desencolado. Este encolado sirve para proteger los hilados de urdimbre durante el proceso de tejido, ayudando a que

soporten altas tensiones mecánicas durante el tejido, y en muchas ocasiones el agente encolante utilizado tiene una base compuesta de almidón (Araújo, 2008).

El almidón es un polisacárido formado por dos polímeros, amilosa en un 25% y amilopectina en un 75%, ambos compuestos por moléculas de glucosa (Perez et al., 2009).

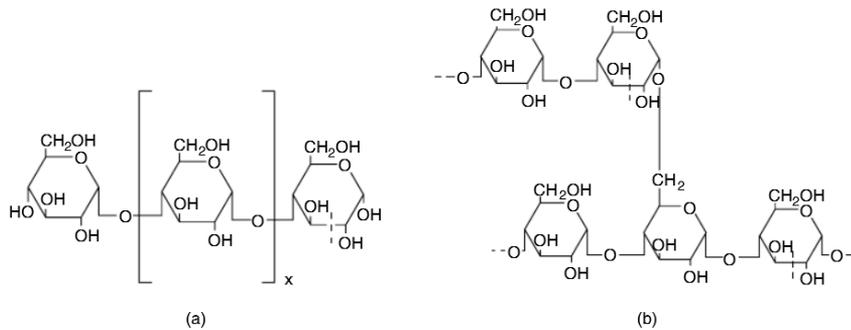


Figura 8. Composición del almidón por amilosa (a) y amilopectina (b) (Pérez et al., 2009).

Antes de la producción de amilasas para uso industrial, el desencolado se realizaba mediante el uso de agentes alcalinos, ácidos u oxidantes a altas temperaturas, los cuales dañaban las telas (Etters & Annis, 1998).

Actualmente, para este proceso se suelen utilizar amilasas que catalizan la hidrólisis del almidón en azúcares más pequeños. Estas actúan sobre la amilosa y la amilopectina formando oligosacáridos llamados dextrinas, maltosa o monosacáridos de glucosa. Dependiendo del tipo de azúcares que produzcan las amilasas se clasifican en α -amilasas y β -amilasas (Radhakrishnan, 2014).

- **α -amilasas:** hidrolizan la ruptura de enlaces internos en la amilosa y la amilopectina, formando oligosacáridos llamados dextrinas.
- **β -amilasas:** rompen enlaces en los extremos produciendo oligo y monosacáridos.

Estas dextrinas mencionadas anteriormente son solubles en agua, lo que hace que con un simple lavado puedan ser eliminadas, evitando así los residuos químicos contaminantes producidos al utilizar agentes alcalinos, ácidos u oxidantes (Etters & Annis, 1998). Las amilasas usadas para el desencolado tienen actividad a temperaturas de entre 30 y 60 °C y pH de entre 5,5 y 6,5 (Mojsov, 2011).

Biodescudado de los productos textiles: las pectinasas, cutinasas y lipasas

Gran parte de las fibras, como el algodón, presentan impurezas no-celulósicas como ceras, pectinas, grasas o hemicelulosas, responsables de las propiedades hidrofóbicas de dichas fibras, lo que dificulta algunos pasos de su procesado, como la tinción o el blanqueo (Etters & Annis, 1998; Araújo, 2008). Por esto es necesario eliminar estas impurezas, proceso llamado escudado, que

tradicionalmente se realizaba utilizando hidróxido de sodio al 5% a temperaturas de 90°C. Este método necesita grandes cantidades de agua para lavar y neutralizar el tratamiento alcalino, además de debilitar la celulosa haciendo que los productos textiles sean menos resistentes (Singh et al., 2021).

Como alternativa a este proceso se puede utilizar una combinación de varias enzimas, entre ellas las pectinasas, que degradan la pectina presente en la lamina media de las paredes celulares, las cutinasas que hidroliza los enlaces éster de la cutina presente en la cutícula, o las lipasas que hidrolizan los triglicéridos a ácidos grasos y glicerol. Al eliminar estos componentes no celulósicos mejora la absorbancia de agua de las fibras, ayudando a que los tintes y otros productos penetren en ellas (Mojsov, 2011; Singh et al., 2021).

El problema de este descrudado enzimático es que actualmente no se utiliza a escala industrial debido a los altos costes de producción de enzimas, además de que son enzimas poco estables (Araújo, 2008; Singh et al., 2021).

En la Tabla 4 se recopila una serie de enzimas anteriormente nombradas y los organismos más utilizados para su producción (Sen et al., 2021).

Enzima	Bacteria	Hongo	Sustrato	Aplicación
Amilasa	<i>Bacillus coagulans</i>	<i>Aspergillus niger</i>	Almidón	Desencolado
Catalasa	<i>Staphylococci</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>	Peróxido	Blanqueado
Celulasa	<i>Clostridium thermocellum</i>	<i>Trichoderma reesei</i>	Celulosa	Procesamiento de materiales compuestos por celulosa (algodón, viscosa, Lyocell..)
Cutinasa	<i>Thermobifida fusca</i>	<i>Fusarium solani</i>	Cutina	Biodescrudado
Lipasa	<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Candela lipolytica</i>	Grasas	Biodescrudado
Pectinasa	<i>Pseudomonas</i>	<i>Aspergillus</i>	Pectina	Biodescrudado, deslanado biológico

Tabla 4. Lista de enzimas utilizados en la industria textil en distintos procesos y los posibles organismos utilizados para su producción (Modificado de Sen et al., 2021).

Estos nuevos materiales biológicos y la producción de enzimas suponen alternativas más sostenibles para la industria textil a largo plazo para así poder conseguir una industria circular donde los desechos sean reducidos a cero. De momento, a pesar de que algunos procesos ya tienen aplicaciones industriales, la mayoría de estos avances biotecnológicos están en fase de desarrollo, además de que al ser procesos tan nuevos no contamos con mucha información sobre los ciclos de vida de estos biomateriales, los cuales se quieren utilizar como sustituto de, por ejemplo, el cuero, conocido por su longevidad.

Otro factor a tener en cuenta es el impacto social que esto supondría, con tantos puestos de trabajo asociados a la industria textil actual, ¿cuál sería la repercusión de introducir los biomateriales como la nueva normalidad en lugar

de las fibras actuales? Gran parte del éxito del uso de biomateriales y enzimas en industria textil depende de la respuesta de la población en conjunto, como dice Carole Collet, profesora de Diseño para un Futuro Sostenible en la universidad Central Saint Martins:

“Incluso si logramos pasar de los sistemas de fabricación lineales convencionales a modelos de producción circulares más sostenibles basados en la biotecnología, seguimos corriendo el riesgo de respaldar nuestra actual mentalidad de consumo excesivo. La bioeconomía solo puede tener éxito si modificamos nuestros comportamientos de consumo y nos replanteamos fundamentalmente la noción de progreso para crear una nueva bio-modernidad inclusiva, interconectada y consciente”.

5. Conclusiones

Tras el desarrollo de ésta memoria podemos concluir que:

-Debido al desarrollo del sector industrial textil , la producción de residuos y el consumo de agua y energía han aumentado proporcionalmente, causando un gran impacto medio ambiental.La biotecnología desempeña un papel importante para aliviar este impacto.

-El desarrollo de la biotecnología ha aportado nuevas posibilidades y soluciones, tanto en el uso de nuevos materiales (más respetuosos con el medio ambiente por su origen natural o a su biodegradabilidad) como en el uso de biocatalizadores para el procesado de residuos. El uso de estos productos puede ayudar a crear una industria que reduzca considerablemente la producción de residuos.

-Queda un largo camino para que muchas de estas técnicas biotecnológicas se puedan utilizar, ya que los costes de estos procesos no son óptimos para su aplicación a escala industrial.

-El uso de los nuevos materiales biodegradables supondría una disminución de la vida media de los productos y habría que replantearse los procesos de producción y tratamiento que se llevan a cabo hoy en día.

-Resultan necesarias nuevas investigaciones para que esta rama de la ciencia pueda aplicarse a la industria sin producir ningún daño ni pérdidas económicas, pues todas estas tecnicas y aplicaciones tienen potencial para mejorar en gran medida la industria textil en un futuro.

6. Bibliografía

Antony, R. (2018). Eco friendly Textiles. *Eco friendly processing of Textiles using enzymes*. 5, 67-73.

- Amorium A. M., Gasques M. D. G., Andreus J. & Scharf M. (2002). The application of catalase for the elimination of hydrogen peroxide residues after bleaching of cotton fabrics, *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. 74, 433-436.
- Araújo, R., Casal, M., & Cavaco-Paulo, A. (2008). Application of enzymes for textile fibres processing. *Biocatalysis and Biotransformation*. 26, 332–349.
- Arroyo, M. (1998). Inmovilización de enzimas. Fundamentos, métodos y aplicaciones. *Ars Pharmaceutica*. 39, 23-39.
- Barcelos, M. C. S., Lupki, F. B., Campolina, G. A., Nelson, D. L., & Molina, G. (2018). The Colors of Biotechnology: general overview and developments of White, Green and Blue areas 1. *FEMS Microbiology Letters*. 21, 365-375.
- Bezirhan, E. & Bilgen, H. D. (2015). A Review: Investigation of Bioplastics. *Journal of Civil Engineering and Architecture*. 9, 188-192.
- Binod P., Palkhiwala P., Gaikawari R., Nampoothiri K. M., Duggal A., Dey K., & Pandey A. (2013). Industrial Enzymes – Present status and future perspectives for India, *Journal of Scientific & Industrial Research*. 72, 271-286.
- BPRI (2006). Green polymers: feasibility, politics and applications. <http://www.bpri.org> Visitada en noviembre de 2021.
- Camere S & Karana E (2018). Fabricating materials from living organisms: an emerging design practice. *J Clean Prod*. 186, 570–584.
- Cavaco-Paulo, A., Nierstrasz, V. A., & Wang, Q. (Ed.) (2019). Advances in Textile Biotechnology (The Textile Institute Book Series) (2nd ed.). *Woodhead Publishing*. p 11.
- Chen, J., Wang, Q., Hua, Z., & Du, G. (2007). Research and application of biotechnology in textile industries in China. *Enzyme and Microbial Technology*. 40(7), 1651–1655.
- Cheng, Z., Yang, R., & Liu, X. (2017). Production of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* through utilizing acetic acid hydrolysate of bagasse as low-cost carbon source, *BioRes*. 12(1), 1190-1200.
- DaSilva, E. J. (2004). Editorial - The Colours of Biotechnology: Science, Development and Humankind. *Electronic Journal of Biotechnology*. 7(3).
- Datta, S., Christena, L. R. & Rajaram, Y. R. S. (2012). Enzyme immobilization: an overview on techniques and support materials. *3 Biotech*. 3(1), 1–9.
- Delgado, A. & Cordoba, A. (2015). Polihidroxialcanoatos (PHA's) producidos por bacterias y su posible aplicación a nivel industrial. *Informador Técnico*. 79, 83.

- Eichhorn S. J., Hearle J. W. S., Jaffe M. & Kikutani T. (2009) Handbook of textile fibre structure I. The Textile Institute. *Woodhead Publishing*. 1, 3-21.
- European Bioplastics e.V. (2020). Bioplastics – Frequently Asked Questions (FAQs). <https://www.european-bioplastics.org/> Visitada en noviembre de 2021.
- Etters J. N. & Annis P. A. (1998). Textile enzyme use: A developing technology. *Am Dyestuff Reporter*. 87, 1823.
- FIBFAB PROJECT. (2017). *València Parc Tecnològic*. <https://fibfab-project.eu/> Visitada en noviembre de 2021.
- Glaser, J. A. (2005). White Biotechnology. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 7, 233–235.
- González, Y., Meza, J. C., González, O. & Córdova, J. A. (2013). Síntesis y biodegradación de polihidroxialcanoatos: plásticos de origen microbiano. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 29, 77-115.
- Grados, R., Álvarez M. T., Gimenez A. & Mattiasson, B. (2008). Degradación anaeróbica de desecho agrícolas por consorcios microbianos para la producción de polihidroxialcanoatos. *Biofarbo*. 16, 28-35.
- Hong, F., & Qiu, K. Y. (2008). An alternative carbon source from konjac powder for enhancing production of bacterial cellulose in static cultures by a model strain *Acetobacter acetii* subsp. *xylinus* ATCC 23770. *Carbohydrate Polymers*. 72, 545-549.
- Hsu, T. M., Welner, D. H., Russ, Zachary N, Cervantes, B., Prathuri, R. L., Adams, P. D. & Dueber, J. E. (2018). Employing a biochemical protecting group for a sustainable indigo dyeing strategy. *Nature Chemical Biology*. 14, 256-261.
- Hu, Y., Du, C., Pensupa, N. & Lin, C. S. K. (2018). Optimisation of fungal cellulase production from textile waste using experimental design. *Process Saf. Environ. Protect*. 118, 133-142.
- John A. G. (2005). *White Biotechnology*. 7, 233–235.
- Kafarski, P. (2012), Rainbow code of biotechnology. *Chemik*. 66 ,814–816.
- Kaminski, K., Jarosz, M., Grudzien, J., Pawlik, J., Zastawnik, F., Pandyra, P. & Kołodziejczyk, A. M. (2020). Hydrogel bacterial cellulose: a path to improved materials for new eco-friendly textiles. *Cellulose*. 27, 5353-5365.
- Kazan H., Akgul D. & Kerc A. (2020). Life cycle assessment of cotton woven shirts and alternative manufacturing techniques. *Clean Technol Environ Policy*. 22, 849–864.
- Ki, C. W., Chong, S. M., & Ha-Brookshire, J. E. (2020). How fashion can achieve sustainable development through a circular economy and stakeholder

- engagement: A systematic literature review. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 27, 2401–2424.
- Ladisch M. R., Lin K. W., Voloch M. & Tsao G. T. (1983). Process considerations in the enzymatic hydrolysis of biomass. *Enzyme and Microbial Technology*. 5, 82-102.
- Madhu, A., & Chakraborty, J. N. (2017). Developments in application of enzymes for textile processing. *Journal of Cleaner Production*. 145, 114–133.
- Mazotto A. M., de Ramos Silva J., de Brito L. A. A., Rocha N. U. & de Souza Soares A. (2021). How can microbiology help to improve sustainability in the fashion industry? *Environ Technol Innov*. 23,101760.
- Mojsov, K. (2011). Application of enzymes in the textile industry: a review. In: II International Congress "Engineering, Ecology and Materials in the Processing Industry", Proceedings, 2011, 09-11 March, pp.230-239, Jahorina, Bosnia and Hercegovina.
- Nemet A., Varbanov P. S. & Klemeš J. J. (2016). Cleaner production, Process Integration and intensification. *Clean Technol Environ Policy*. 18, 2029–2035.
- Pérez, F., Ochoa-Gómez, J., Díaz de Apodaca, E., Roncal, T., Beitialarangoitia, U. & Torrecilla, J. (2007). Bioplásticos. *Ministerio de Industria, Comercio y Turismo - Observatorio Industrial del Sector Químico*. 44-53.
- Perez, S., Baldwin, P. & Gallant, D. J. (2009). Structural Features of Starch Granules I. *Starch: Chemistry and Technology*. 3, 149-188.
- Provin, A. P., Cubas, A. L. V., Dutra, A. R. de A., & Schulte, N. K. (2021). Textile industry and environment: can the use of bacterial cellulose in the manufacture of biotextiles contribute to the sector? In *Clean Technologies and Environmental Policy*. 23 (10), 2813–2825. Springer Science and Business Media, Alemania.
- Provin, A. P., Regina de Aguiar Dutra, A., Machado, M. M., & Vieira Cubas, A. L. (2021). New materials for clothing: Rethinking possibilities through a sustainability approach - A review. In *Journal of Cleaner Production*. 282. Klemeš J. J. (Ed.).
- Querellou, J., Børresen, T., Boyen, C., Dobson, A., Hofle, M., Ianora, A., Jaspars, M., Kijjoa, A., Olafsen, J., Querellou, J., Rigos, G. & Wijffels, R. H., (2010). Marine Biotechnology: A New Vision and Strategy for Europe. *Marine Board-ESF Position Paper*, 15.
- Radhakrishnan, S. (2014). *Application of Biotechnology in the Processing of Textile Fabrics*. 1, 277–325.
- Ryu D. D. Y. & Mandels M. (1980). Cellulases: biosynthesis and applications. *Enzyme and Microbial Technology*. 2, 91-102.

- Sankarraaj N. & Nallathambi, G. (2017). Effect of biopolishing on structural degradation and physical properties of cellulose. *Journal of the Serbian Chemical Society*. 82, 31-31.
- Sasson A. (2005). Medical Biotechnology: Achievements, Prospects and Perceptions. *United Nations University Press*, Tokyo.
- Sen, A., Kapila, R., Chaudhary, S. & Nigam, A. (2021). Biotechnological Applications of Microbial Enzymes to Replace Chemicals in the Textile Industry-A Review. *Journal of the Textile Association*. 82, 68-73.
- Shi, K., Jing, J., Song, L., Su, T., & Wang, Z. (2020). Enzymatic hydrolysis of polyester: Degradation of poly(ϵ -caprolactone) by *Candida antarctica* lipase and *Fusarium solani* cutinase. *International Journal of Biological Macromolecules*. 144, 183–189.
- Singh A., Varghese L. M., Battan B., Patra A. K., Mandhan R. P. & Mahajan R. (2021). Environmental pollution reducing strategy for scouring of undegummed sisal fibers using xylanase and pectinase enzymes. *Bioprocess Biosyst*. 44, 607-615.
- Shen, F., Xiao, W., Lin, L., Yang, G., Zhang, Y. & Deng, S. (2013). Enzymatic saccharification coupling with polyester recovery from cotton-based waste textiles by phosphoric acid pretreatment. *Bioresour Technol*. 130, 248-255.
- Stanescu, M. D. (2021). State of the art of post-consumer textile waste upcycling to reach the zero waste milestone. *Environmental Science and Pollution Research*. 28, 14253–14270.
- Vazquez, A., Velasco Perez, M., Valdemar, R. & Beltrán, M. (2016). Bioplásticos y plásticos degradables. En *Degradation of plastics*. DOI:10.13140/RG.2.1.1294.4241.
- Williams, S. & Martin, D. (2016). The History of GalaFLEX P4HB Scaffold. *Aesthetic Surgery Journal*. 36, S33-S42.