



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA**

**Nuevos materiales: aplicaciones y
sostenibilidad**

Autor:

NIETO JIMÉNEZ, ELENA

Tutor(es):

**Quintano Pastor, Carmen
Tecnología Electrónica**

Valladolid, 2020

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

Resumen

Los nuevos materiales están en continuo desarrollo. Este campo de investigación multidisciplinar involucra a ciencias como la física, la química, la biología y la ingeniería, entre otras.

Entre las tendencias más recientes de aplicación de nuevos materiales encontramos la biomedicina, la ingeniería o la sostenibilidad. Los materiales ‘verdes’ o respetuosos con el medioambiente han despertado un gran interés en los últimos años debido a la necesidad de frenar el cambio climático y cumplir los objetivos del acuerdo de París de las Naciones Unidas.

Son innumerables los descubrimientos que se producen en ciencia de materiales, aunque no todos son lanzados al mercado debido a motivos económicos como la falta de inversión en el sector, la baja rentabilidad económica o la dificultad de producción en masa de determinados materiales.

En este trabajo se tratará de abordar algunos de los hallazgos más relevantes o interesantes que puedan tener un impacto medioambiental positivo.

Abstract

New materials are in constant development. This multidisciplinary research field involves different sciences such as physics, chemistry, biology and engineering, among others.

Among the more recent trends in the application of new materials, biomedicine, engineering or sustainability are found. For instance, the development of “green” or ecofriendly materials has aroused big interest last years to combat climate change and achieve the objectives of the Paris agreement.

Thereby, there are innumerable discoveries that take place in the material area, although not all reach the market due to some economic reasons, like the lack of investment in this sector or its low economic profitability, or due to the difficulty of producing of certain materials in large quantities.

In this study, some of the most outstanding or interesting inventions which can have a positive impact on the environment will be analyzed.

Palabras clave

Nuevos materiales, cambio climático, contaminación ambiental, sostenibilidad, materiales verdes

Keywords

New materials, climate change, environmental pollution, sustainability, green materials

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
CAPÍTULO 1. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	7
1.1 TEJAS SINTÉTICAS	8
1.1.1 IMPACTO ECONÓMICO	9
1.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	10
1.2 LADRILLOS ECOLÓGICOS	10
1.2.1 IMPACTO ECONÓMICO	11
1.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	12
1.3 PINTURA SOLAR.....	13
1.3.1 IMPACTO ECONÓMICO	14
1.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	14
1.4 HORMIGÓN AUTOREPARABLE	14
1.4.1 IMPACTO ECONÓMICO	15
1.4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	15
CAPÍTULO 2. INDUSTRIA TEXTIL	16
2.1 SEDA DE ARAÑA ARTIFICIAL	16
2.1.1 IMPACTO ECONÓMICO	18
2.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	18
2.2 ‘CUERO’ DE MICELIO DE HONGOS	18
2.2.1 IMPACTO ECONÓMICO	19
2.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	20
2.3 FIBRA DE POSOS DE CAFÉ.....	20
2.3.1 IMPACTO ECONÓMICO	21
2.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	21
CAPÍTULO 3. INDUSTRIA ELECTRÓNICA	22
3.1 LUCES LED	23
3.1.1 IMPACTO ECONÓMICO	24
3.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	24
3.2 UPSALITA.....	25
3.2.1 IMPACTO ECONÓMICO	26
3.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	27
3.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL	27
3.3.1 IMPACTO ECONÓMICO	28
3.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	30
3.4 GRAFENO	30
3.4.1 IMPACTO ECONÓMICO	32

3.4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	32
CÁPITULO 4. INDUSTRIA ENERGÉTICA	33
4.1 HIDRÓGENO.....	35
4.1.1 IMPACTO ECONÓMICO	37
4.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	37
4.2 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA	38
4.2.1 IMPACTO ECONÓMICO	39
4.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	40
4.3 MICROALGAS	40
4.3.1 IMPACTO ECONÓMICO	42
4.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	42
4.4 ENERGÍA CINÉTICA	43
4.4.1 IMPACTO ECONÓMICO	44
4.4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	44
CAPÍTULO 5. INDUSTRIA ALIMENTARIA	45
5.1 AGRICULTURA VERTICAL.....	46
5.1.1 IMPACTO ECONÓMICO	48
5.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	49
5.2 FORRAJE RICO EN TANINOS	49
5.2.1 IMPACTO ECONÓMICO	52
5.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	52
5.3 PLÁSTICOS DERIVADOS DE BIOPOLÍMEROS	52
5.3.2 IMPACTO ECONÓMICO	54
5.3.3 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL	55
CAPÍTULO 6. INDUSTRIA BIOMÉDICA	56
6.1 ESPUMA DE TITANIO	58
6.2 SEDA DE ARAÑA	59
6.3 NANOPARTÍCULAS DE HIDROGELES.....	60
6.4 IMPRESIÓN 3D	62
CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambios en la temperatura superficial global y en la energía recibida del Sol	1
Figura 2. Productos para el consumo con nanomateriales	4
Figura 3. Ranking mundial de los países más sostenibles del planeta	8
Figura 4. Componentes de las losetas de bioMASON	11
Figura 5. Hormigón autorreparable	15
Figura 6. Tabla comparativa de las propiedades de distintas seda de araña, acero altamente resistente y Kevlar	17
Figura 7. Fabricación de Mylo	19
Figura 8. Diodo LED	23
Figura 9. Tabla comparativa de luces LED con otras fuentes de iluminación comunes	25
Figura 10. Síntesis de la Upsalita	26
Figura 11. Previsión del crecimiento del PIB anual de distintos países para 2035 con y sin incorporación de la IA en la economía	29
Figura 12. Resultados de implementar IA en aplicaciones de sostenibilidad	29
Figura 13. Estructura molecular del grafeno	31
Figura 14. Reducción de emisiones de CO ₂ al adoptar las medidas del plan REmap de IRENA	34
Figura 15. Rendimiento de diferentes biomásas en la producción de biocombustible líquido	41
Figura 16. Funcionamiento de las baldosas Pavegem	43
Figura 17. Evolución de la población mundial	45
Figura 18. Contenedores modulares para el cultivo de interiores de Square Roots	47
Figura 19. Contribución en millones de toneladas de CO ₂ – eq de las principales especies de animales del sector ganadero	50
Figura 20. <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Flemingia macrophylla</i> y <i>Calliandra calothyrsus</i>	51
Figura 21. Tiempo estimado de degradación de algunos plásticos comunes	55
Figura 22. Espuma de titanio	59
Figura 23. Aplicaciones de las nanopartículas de hidrogeles	62
Figura 24. Algunas de las posibilidades de la impresión 3D en medicina	63

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

En los últimos años se han empezado a escuchar, cada vez más frecuentemente, términos como *sostenibilidad*, *crisis climática*, *acuerdo de París*, *protocolo de Kioto*, *economía circular*, *materiales verdes*, *energías renovables*, *biocombustibles* e infinidad de expresiones relacionadas con el movimiento ecologista, que defiende la necesidad de adoptar unas políticas para frenar el cambio climático y proteger el medioambiente y, por lo tanto, el mundo y los ecosistemas tal y como los conocemos actualmente. Las consecuencias cada día más palpables de esta crisis climática han llevado a la sociedad actual a aumentar las concentraciones ecologistas y las reivindicaciones medioambientales que permitan frenar el desenlace fatal al que estamos siendo encaminados.

La crisis climática hace referencia a los efectos derivados del aumento de la temperatura global (que ha aumentado más de 1°C desde 1880 hasta hoy): deshielo y por tanto subida del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos frecuentes (sequías, huracanes, terremotos, tsunamis, tornados, lluvias torrenciales...), extinción de especies, destrucción de ecosistemas... Todos ellos afectan de forma negativa a nuestra especie y a nuestra vida tal y como la conocemos [1, 2].

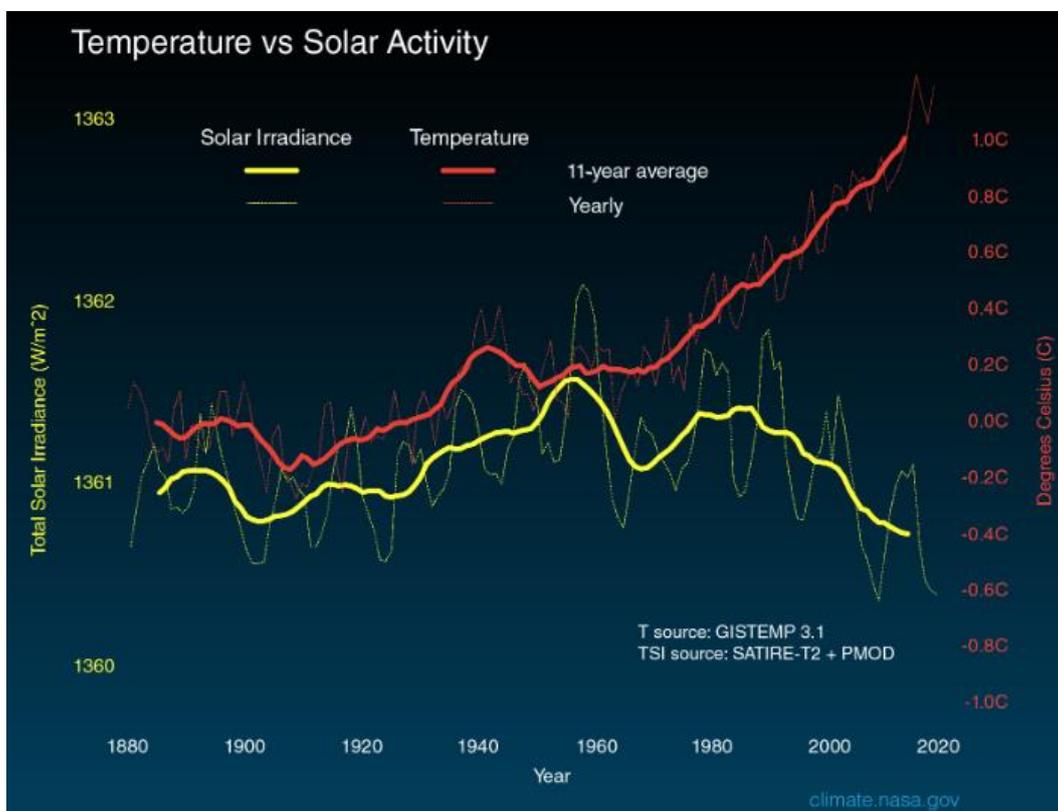


Figura 1. Cambios en la temperatura superficial global y en la energía recibida del Sol [Recuperado de NASA - Global Climate Change]

En 2015 tuvo lugar la propuesta del acuerdo de París en la celebración de la vigésima primera Conferencia de las Partes (COP21) por parte de los países miembros de la Convención Marco de Naciones Unidas contra el Cambio Climático (CMNUCC). El objetivo principal de este tratado es limitar el aumento de la temperatura global del planeta por debajo de 2°C, en 1.5°C idealmente, para lo que los países miembros deben aunar esfuerzos, tecnología y tener una comunicación transparente. Otro de los objetivos directamente relacionado con el mantenimiento de la temperatura del planeta, es la reducción de los gases de efecto invernadero (GEI), buscando alcanzar ya el pico de las emisiones de estos gases y comenzar a reducir su presencia, siendo el propósito de la UE lograr en 2050 las llamadas emisiones cero [3,4].

Otro concepto importante para lograr frenar la contaminación es el de *economía circular*. Se trata de un modelo económico en el que se reducen los desechos al mínimo, reutilizando o dando una segunda vida a los productos, reciclando parcial o totalmente los componentes y buscando el uso de materiales compostables o biodegradables en su fabricación [5]. Este patrón permite disminuir la necesidad de extracción de materias primas y la consiguiente emisión de GEI en el proceso. Además contribuye a reducir la basura acumulada no biodegradable en vertederos y supone un ahorro económico.

La comunidad científica está tratando de encontrar soluciones, a contrarreloj, para poder frenar la emergencia climática que estamos viviendo: búsquedas de alternativas a los combustibles fósiles para la obtención de energía, el desarrollo de una agricultura más sostenible, un mayor control del uso del agua o el progreso en la fabricación de coches eléctricos que puede suponer una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 50% al 80% [7]. Pero los cambios hacia una economía más sostenible en la que se desarrollen actividades más respetuosas con el medio ambiente también pueden producirse mediante pequeñas transformaciones en diferentes sectores, en los que la ciencia de los materiales es una pieza muy importante en este desarrollo: la búsqueda de nuevos materiales cuyas prestaciones iguallen o mejoren a las de los ya existentes, cumplan nuestras, cada vez más exigentes, demandas y que contribuyan al desarrollo de una economía circular.

Estos materiales surgen de una laboriosa y larga tarea de investigación, y abarcan una gran amplitud de áreas de aplicación: sustitutos biodegradables de los plásticos, residuos que puedan adquirir una segunda vida o convertirse en materias primas, materiales súper-absorbentes para retirar productos tóxicos del agua, materiales de propiedades extraordinarias como el grafeno (se abordará en el *cap. 3.4. GRAFENO*) o el Kevlar (una fibra altamente resistente empleada en la fabricación de chalecos antibalas), materiales inteligentes (smart materials), biomateriales para prótesis y un larguísimo etcétera [8].

Una de las disciplinas de gran importancia en el desarrollo sostenible de los materiales es la nanociencia, cuyo objetivo es el estudio de la materia en

dimensiones nanométricas (10^{-9} m): los nanomateriales que, por definición, deben tener un tamaño igual o inferior a 100 nanómetros. Las aplicaciones que abarcan estos nanomateriales son numerosas y diferentes, siendo especialmente útiles en electrónica, medicina y alimentación. Permite la modificación de materiales ya existentes, la aparición de nuevos o la combinación de ambos, confiriendo diferentes propiedades en función del objetivo final del material [9,10].

Las ventajas que pueden proporcionar son de muy diversa naturaleza. En material constructivo pueden dotarlo de mayor resistencia y durabilidad. En medicina tratan de incrementar la biocompatibilidad de implantes, dirigir los fármacos al origen de la enfermedad o bien conseguir aferrar nanopartículas a células tumorales para el tratamiento de estas últimas. En la industria electrónica pueden ser de gran interés en sistemas de almacenamiento de datos, dotándolos de una alta densidad. También resultan valiosos en el sector energético, donde permiten desarrollar una mayor eficiencia a las placas solares, modificando las propiedades fotovoltaicas [11].

En todas las prácticas mencionadas, los nanomateriales permiten un beneficio económico (productos más duraderos, rentables o eficaces. Otra de sus ventajas es también es el impacto positivo que pueden tener estos pequeños materiales en sostenibilidad, medioambiente y alimentación [11].

Por ejemplo, su uso en tratamiento de aguas permite mejorar las condiciones medioambientales eliminando posibles sustancias tóxicas presentes en ellas, como el uso de nanomagnetita para la eliminación de arsénico [9]. En el caso de la agricultura, estos materiales proporcionan una mejor eficacia a los pesticidas o a los fertilizantes, o pueden llegar a permitir la encapsulación de determinados nutrientes y proporcionarlos en el momento apropiado para el cultivo [12].

La producción de los nanomateriales artificiales puede realizarse, generalmente, de dos formas diferentes. La primera de ellas recibe el nombre de ‘técnica de arriba hacia abajo’ o, en inglés, ‘top-down’. Consiste en partir del material de macroescala y, mediante diversos métodos, obtener los materiales de tamaño reducido (de escala nanométrica). Esta técnica es la utilizada en la fabricación de microchips, transistores y otros elementos electrónicos, cuya elaboración parte de obleas de silicio. El otro método productivo es el proceso contrario, cuya denominación es, en este caso, “técnica de abajo hacia arriba” o “bottom-up”. En este caso, el origen son los átomos y moléculas, que se ensamblan formando la nanoestructura deseada [9, 13].

En 2016, de los productos disponibles destinados al consumo, 1814 de ellos contenían algún nanomaterial [13]. El área al que pertenecían cada uno de ellos puede apreciarse en la figura siguiente, correspondiendo la mayoría a productos de salud y belleza.

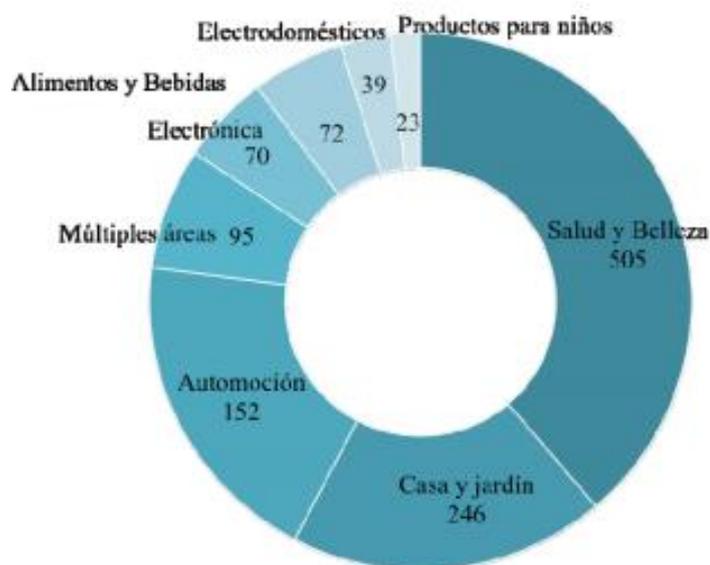


Figura 2. Productos para el consumo con nanomateriales [Recuperado de NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA I: APLICACIONES – doi: 10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n2.53544]

Se pueden encontrar diferentes tipos de nanomateriales, destinados a una amplia variedad de utilidades distintas. Los tipos más destacados son: los fullerenos, moléculas de carbono empleadas en material electrónico como memorias; los nanotubos, moléculas de fullereno de alta resistencia mecánica y bajo peso utilizadas en raquetas de tenis, piezas de coches, etc.; las nanopartículas, partículas de tamaño igual o inferior a 100 nm especialmente utilizadas en medicina para combatir las células tumorales adhiriéndose a ellas; las nanofibras, utilizadas en toallitas y otros textiles, filtros y otras aplicaciones quirúrgicas; los nanogeles, cuya estructura porosa permite aplicarlos en aislamiento y como catalizadores en procesos químicos; los nanocristales, grupos de átomos que han adoptado una configuración cristalina y pueden aportar beneficios en energía fotovoltaica, en pantallas o en computación cuántica, entre otros; y las nanopelículas, películas muy delgadas que pueden utilizarse como material hidrófugo, antivaho o antirreflectante en lentes, pantallas, cámaras de fotografía etc. [9].

La sostenibilidad y la nanoingeniería van de la mano en el proceso de alcanzar una mejora medioambiental global. El análisis de elementos a una escala nanométrica permite encontrar características de interés reproducibles en otros materiales, como la seda de araña artificial, sin necesidad de explotar recursos naturales o agotarlos. En este ámbito también entra en juego el papel de la biotecnología, ciencia que emplea conocimientos de biología a escala molecular para beneficiarse de algunas propiedades de los seres vivos o de sus componentes para la mejora de productos o procesos existentes o el estudio y creación de nuevos [14].

Se trata de una tecnología cuestionada constantemente por modificar genéticamente bienes como alimentos, área en la que puede ser de un gran interés. Se establece una lucha constante entre los beneficios y los miedos a posibles efectos secundarios en los seres humanos. Pero el hecho de poder desarrollar plantas más resistentes, evitaría el uso desmesurado existente de herbicidas o plaguicidas, que, por otra parte, también pueden tener efectos negativos sobre la salud de las personas (debido a sustancias tóxicas o cancerígenas). De esta forma, se aumentaría la rentabilidad de los cultivos, se protegerían los suelos y podrían cultivarse alimentos en zonas antes impensables [14]. Incluso en un futuro, tal vez no tan lejano, podría aumentarse la concentración de proteínas o nutrientes necesarios en la alimentación y obtener las sustancias necesarias en alimentos de menor tamaño o reducir la ingesta de alimentos. Así, se reducirían las áreas de plantación y por tanto, todas las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación asociadas al proceso de obtención de alimentos: siembra, riego, cosecha, transporte, etc. Además, ayudaría al cumplimiento del objetivo de erradicar la hambruna mundial proporcionando una nutrición y alimentación adecuada, al hacer posible la llegada de alimentos y el cultivo de estos en los países más desfavorecidos [15].

Uniendo el potencial de la ingeniería, la biotecnología, la física, la química, la biología y la ciencia de los materiales, principalmente, se puede lograr el desarrollo de materiales, partículas o instrumentos que permitan el avance de una sociedad hacia un modelo más respetuoso con el planeta sin prescindir de todas las comodidades y servicios que la tecnología puede ofrecer.

Son muy numerosas las empresas que actualmente tienen en cuenta el factor sostenible a la hora de fabricar sus productos y deciden utilizar materiales respetuosos con el medio ambiente en la fabricación de los mismos, ayudando también de esta manera a la concienciación ciudadana del problema que nos atañe [16].

El presente estudio analizará estos nuevos materiales desde un punto de vista económico, medioambiental y de sostenibilidad, centrándose en las industrias más relevantes. Así, se abordarán en forma de capítulos los principales nuevos materiales utilizados por la industria de la construcción, la textil, la energética, la electrónica, la agrícola y, aunque de menor impacto medioambiental, también la industria biomédica, dado que presenta resultados muy interesantes y de alto impacto social.

El objetivo principal de este trabajo es el estudio de los nuevos materiales utilizados en la industria desde un punto de vista de sostenibilidad ambiental, mientras que como objetivos secundarios se pueden definir los siguientes:

1. Abordar el conocimiento de diferentes sectores industriales en los que se invierte en la búsqueda de nuevos materiales.
2. Estudiar diversos materiales y soluciones sostenibles y sus aplicaciones.

3. Informar de los beneficios o desventajas económicas y medioambientales del empleo de estos nuevos materiales.

CAPÍTULO 1. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

El sector de la construcción es uno de los más implicados en los últimos años en la utilización de materiales sostenibles.

El objetivo es que las edificaciones futuras sean energéticamente eficientes y de construcción sostenible, debido a la creciente concienciación acerca del cuidado del planeta por parte de toda la sociedad, y especialmente, a las políticas medioambientales impuestas en diversos países.

Las leyes más restrictivas frente a la contaminación, o bien las más ‘verdes’, las encontramos implantadas en Noruega, siendo este país el primero en establecer una medida de deforestación cero en 2019, además de batir el record en producción de electricidad a partir de energía eólica (el 47% de toda la electricidad). Esto le convierte en el país más sostenible del mundo en el ranking de RobecoSAM. Esta empresa gestora es la primera compañía de inversiones enfocada en sostenibilidad: sus fondos están destinados a promover estrategias de sustentabilidad en agua, energías renovables, materiales inteligentes... Evalúan anualmente las empresas más grandes del mundo y determinan su clasificación de sostenibilidad, comparándolas entre ellas. La metodología de puntuación ESG (Environmental Social Governance) es el procedimiento de medición de la sostenibilidad de una inversión en un negocio, basándose en tres factores: ambientales, sociales y de gobierno corporativo. La Su Evaluación de Sostenibilidad Corporativa de RobecoSAM es una de las metodologías de puntuación ESG más avanzadas hasta el momento actual, que permite a las empresas conocer su situación y compararlas con otras para poder adoptar mejores prácticas [17].

A continuación tenemos una imagen del mapa mundial en el que están clasificados todos los países con el criterio de esta empresa:

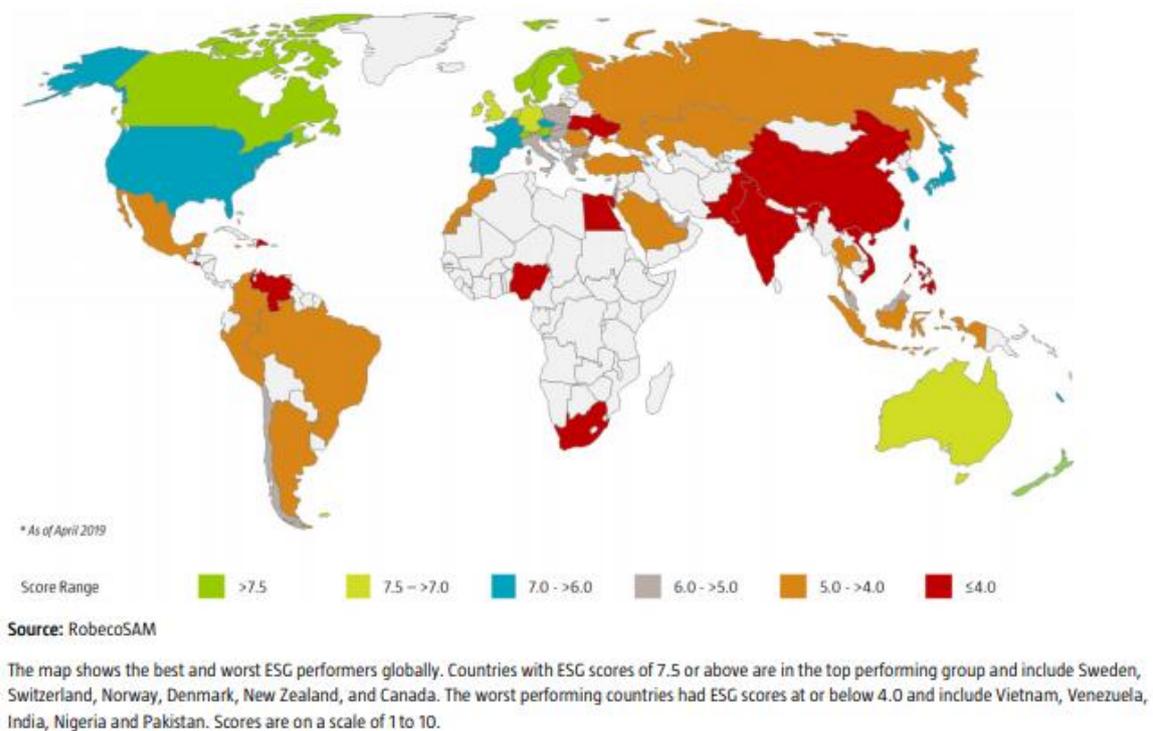


Figura 3. Ranking mundial de los países más sostenibles del planeta [Recuperado de RobecoSAM - Country Sustainability Ranking]

Además de las directivas adoptadas ya mencionadas, como la Directiva (UE) 2018/844, que obligan a la construcción de edificios cuyo consumo energético provenga de energías renovables (más del 50%), se puede producir un ahorro de energía y contribuir a la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera mediante el uso de nuevos materiales en construcción.

1.1 TEJAS SINTÉTICAS

La búsqueda de alternativas al cemento o al acero (principales materiales presentes en la construcción) se debe al elevado coste de producción de estos, tanto energético como económico [18].

Ya son varias las empresas que se dedican a la fabricación de tejas parcialmente compuestas de plástico reciclado, en sustitución del cemento. El otro integrante de éstas puede ser desde piedra caliza (como las fabricadas por la empresa GRGreen) hasta fibras naturales de bambú (idea desarrollada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala) [19].

Se trata de buscar la proporción adecuada entre ligereza y resistencia, para poder fabricar unas tejas igual de resistentes que las tradicionales pero mucho más livianas.

Unas 335 Mt de plástico son producidas al año, de las que únicamente son recicladas un 9% [20]. El plástico restante se convierte en un residuo que se almacena en los vertederos, causando graves problemas ambientales. Por este motivo, en la actualidad se trata de dar una segunda vida a estos plásticos, contribuyendo a reducir el impacto medioambiental del ser humano y los costes de producción de las tejas.

Estudios [21] han demostrado la eficacia de estas tejas sintéticas. Expone una investigación detallada de las distintas propiedades de las tejas en función de la proporción de plástico que contienen. Entre sus revelaciones hallamos que, al incorporar residuos plásticos EPS (en este caso el estudio se realiza con poliestireno expandido), la resistencia a la compresión aumenta a medida que lo hace el porcentaje de éste, pero sin embargo es menor la resistencia a la flexión. También encontramos ventajas a la hora de utilizar plástico: el resultado es una teja de menor densidad y, por tanto, más ligera, y con una mayor impermeabilidad que las tejas convencionales [21].

Diferente de las características nombradas, es la alta resistencia térmica que proporciona un aislamiento adecuado. Cumple los principales objetivos de cualquier tejado: evitar el paso del agua y contribuir a mantener un clima apropiado en el hogar, además de ser buen aislante acústico.

La conclusión que se extrae de esta investigación es la posibilidad de sustituir de forma exitosa las tejas que emplean cemento por estas otras que incorporan residuos plásticos. Son muchas las opciones en el mercado de distintos fabricantes (GrGreen, Roofy, Roof Eco...) y diferentes composiciones de estas tejas sintéticas, cuyas propiedades en común son la absoluta eficacia, el ahorro económico y aportar su granito de arena para conseguir un medioambiente más limpio [22, 23].

1.1.1 IMPACTO ECONÓMICO

El ahorro por día de la compañía TUBASEC asciende a 9.4 USD al fabricar estas tejas sintéticas. Teniendo en cuenta que la producción es de unas 5000 tejas diarias al año suponen 3427.7 USD [20]. Además, el proceso de fabricación de estas tejas no supone un gran coste energético y no generan residuos (que de otro modo deberían ser procesados y, por tanto, supondrían un gasto).

Estos resultados hacen de las tejas con componente plástico un producto con un precio competitivo en el mercado.

Por si estos motivos aún no fueran suficientes, otra de las ventajas de la construcción de estructuras con estas tejas es el ahorro económico que se produce en la instalación. Al tratarse de elementos mucho más ligeros que los convencionales, se requiere de menor número de elementos

de sujeción o de menor fuerza, lo que al final se traduce en un abaratamiento de los gastos de edificación.

1.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el hecho de utilizar plásticos reciclados para la fabricación de tejas sintéticas que, en algunos casos, son también reciclables disminuimos la cantidad de residuos plásticos en el planeta, además de reducir la huella industrial que produce la fabricación de cemento. Se trata de buscar una segunda oportunidad para aquellos plásticos que, de otro modo, se hubieran convertido en desechos no biodegradables.

1.2 LADRILLOS ECOLÓGICOS

Otra de las opciones ‘verdes’ en construcción son los llamados ladrillos ecológicos. Siguiendo las mismas ideas que las tejas sintéticas, encontramos ladrillos que, en lugar de estar constituidos de arcilla como los convencionales, están fraccionariamente compuestos de plástico. Otras variantes utilizan vidrio en lugar de plástico o también se han fabricado ladrillos a partir de prensado de tierras naturales. Pero cada vez son más impactantes los descubrimientos: se pueden fabricar estos elementos estructurales del llamado ‘humo congelado’ (aerogel, un sólido superligero) mediante impresión 3D, a partir de microorganismos, cáscaras de cacahuete, cenizas de carbón y un largo etcétera [18, 24].

Todas estas innovaciones tienen la misma meta: el empleo de un ladrillo con características similares al convencional (o mejores), pero con una disminución de la contaminación en la fabricación y en su posterior retirada.

Los ladrillos de concreto u hormigón son empleados en arquitectura principalmente en la elaboración de muros y paredes debido a su alta resistencia a la compresión. Estos se conforman de cemento, arena, grava o agregados y agua, principalmente (también puede llevar algún tipo de aditivos). La start-up estadounidense bioMASON [25] ha llevado a cabo un revolucionario descubrimiento al desarrollar un bio-cemento que sustituya al convencional, ya que, tal y como exponen en su página web, la industria de fabricación de cemento es una de las más contaminantes, tratándose de la responsable del 8% de las emisiones mundiales de CO₂.

Este bio-cemento se obtiene a partir de bacterias, biomasa, agregados y una solución acuosa de calcio en menos de tres días a temperatura ambiente, en un proceso que nace del estudio de la estructura del coral, formada mediante la fijación de carbonato cálcico. Es la bacteria *Sporosarcina pasteurii* la encargada de

la producción de este carbonato cálcico, para lo que únicamente requiere añadir nitrógeno a la fuente de calcio [25].

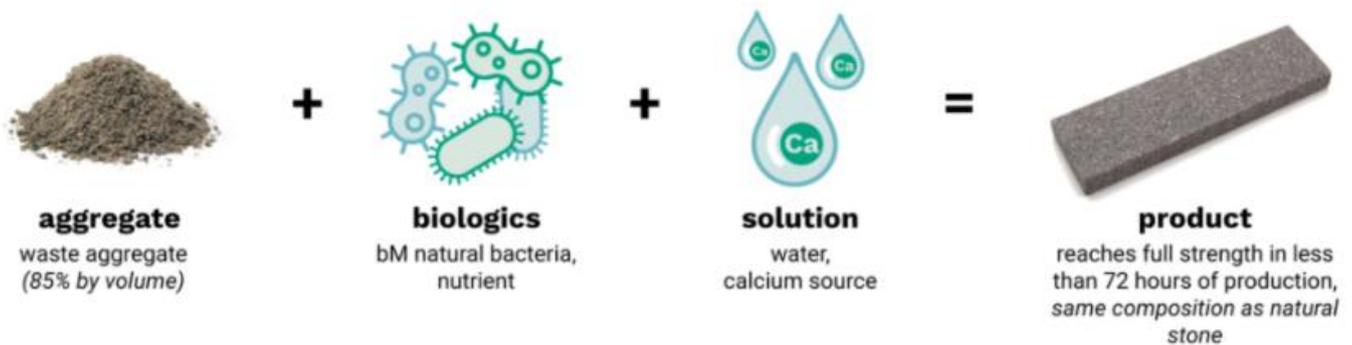


Figura 4. Componentes de las losetas de bioMASON [Recuperado de bioMASON]

Es así como, a partir de un proceso natural, se puede obtener un ladrillo de composición equivalente a la piedra, igualmente válido para las necesidades básicas de construcción.

Todo lo necesario para la elaboración de estos ladrillos son recursos renovables, podemos encontrarlos por todo el planeta y su fabricación no necesita energía térmica adicional al realizarse a temperatura ambiente.

Otra alternativa de distinta naturaleza es la ofrecida por la empresa DURABRIC [26]. Aunque no se ofrece un sustituto para el cemento, se trata de una solución baja en carbono y combativa contra la deforestación ya que prescinde de la cocción del ladrillo. Los componentes de su producto son: arena, cemento y agua, convertidos en ladrillo mediante prensamiento. El resultado es un material con una mayor resistencia a la compresión y mejor resistencia al agua que el ladrillo convencional.

Incluso se han realizado estudios sustituyendo cierto porcentaje de arcilla del ladrillo convencional por colillas de cigarro [27]. De esta forma se obtiene un ladrillo ecológico que facilita el reciclado de estas colillas y que además, según los resultados obtenidos (para un porcentaje de 1% de colillas y 99% arcilla), tiene mejores prestaciones que un ladrillo convencional (100% arcilla).

1.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

Aunque no se ha desarrollado en el capítulo debido a las similitudes existentes con el caso de las tejas sintéticas, existen ladrillos compuestos parcialmente de plástico. Igual que ocurre con las tejas, los ladrillos disminuyen la densidad y son más ligeros. De esta forma, es mayor la agilidad y menor el tiempo que se invierte a la hora de construir un edificio, traduciéndose en un menor coste de mano de obra.

Si se considera el caso de los ladrillos de bioMASON, los costes de producción de cemento son eliminados y la materia prima necesaria no es ni de difícil adquisición ni de elevado coste. El proceso se realiza a temperatura ambiente por lo que también se produce un ahorro de combustible [25].

Algo similar se puede encontrar en el caso de los ladrillos sin cocción de DURABRIC: el gasto energético es muy inferior al de producción de ladrillos convencionales. En su sitio web anuncian un ahorro de un 20% al construir cualquier muro con su producto [26].

Los ladrillos de arena comprimida o adobe son mejores aislantes térmicos, lo que también se acaba convirtiendo en un ahorro de energía a la hora de calentar las casas.

1.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Todas estas variantes ecológicas del ladrillo convencional se caracterizan por ser beneficiosas para el medioambiente [24].

En el caso de los ladrillos que contienen colillas, mencionados con anterioridad, se contribuye al reciclado de un residuo del que se desechan unos 6 billones de unidades al año y que constituye el 30% de los desperdicios [27].

Similar es el caso del plástico, otro residuo no biodegradable que es reciclado dándole otra utilidad.

La empresa DURABRIC expone en su página web como construyendo una casa con sus ladrillos ecológicos se puede evitar la tala de 14 árboles, que de otro modo hubieran sido leña para el proceso de cocción. Esto implica también una reducción de emisiones de CO₂, y una ayuda para frenar la deforestación tan agravada en algunos lugares del planeta [26].

Lo mismo ocurre con otras soluciones: los ladrillos de adobe sin cocción también contribuyen a la menor emisión de gases de efecto invernadero, los fabricados a partir de residuos de carbón o cenizas de la industria del papel contribuyen a disminuir la cantidad de residuos sin finalidad y los que son mejores aislantes permiten un ahorro energético en los hogares. Cualquiera que sea su naturaleza tienen un fin común: cuidar la naturaleza [24].

1.3 PINTURA SOLAR

Otro campo de la arquitectura en la que se están llevando a cabo muchas investigaciones es en la pintura. Ha pasado de ser un mero recubrimiento de paredes de fin estético a tener diferentes utilidades.

Pinturas fotovoltaicas, hidrófugas, fotocatalíticas o inteligentes son algunos de los descubrimientos que nos permiten construir edificios energéticamente autosuficientes, con mayores niveles de limpieza, reducir el nivel de contaminación del ambiente que los rodea o incluso avisar de posibles fallos, humedades... [28]

Como ya se expuso, hay ciertas políticas medioambientales en países desarrollados que exigen la construcción de edificios parcialmente autosuficientes. La pintura solar o fotovoltaica es una de las posibilidades existentes para lograr esta meta, aunque no la única (tejas de vidrio solares, paneles fotovoltaicos convencionales en el tejado...).

Se podría decir que son dos los descubrimientos más relevantes. El primero de ellos fue fruto de una investigación en 2011 en la universidad estadounidense de Notre Dame [29]. Este estudio surge de la necesidad de encontrar una alternativa más económica que las placas solares, logrando desarrollar una pintura que únicamente requiere una capa de aplicación. Este descubrimiento, que parte de la investigación de los nanocristales semiconductores, consiste en una pasta sin aglomerante compuesta por nanopartículas semiconductoras de CdS, CdSe y TiO₂ capaz de generar energía eléctrica con una eficiencia algo superior al 1%. Aunque se trata de una eficiencia bastante inferior a la de los paneles fotovoltaicos de silicio convencionales, supone un interesante punto de partida y un importante descubrimiento para el mundo de la energía renovable sobre el que se sigue trabajando, aspirando a lograr un mayor rendimiento.

El otro hallazgo destacado es obra de un grupo de investigadores del RMIT (Real Melbourne Institute of Technology) [30, 31]. Se trata de un descubrimiento que tuvo lugar en 2017 y que permite absorber el vapor de agua del ambiente y obtener el hidrógeno de éste, utilizándolo para generar energía limpia. La pintura solar se compone de un material llamado sulfuro de molibdeno sintético que actúa de forma similar al gel de sílice (utilizado normalmente para absorber humedad). Al mezclar este componente con óxido de titanio, que forma parte de las pinturas convencionales, se produce la división del vapor de agua en hidrógeno.

Es decir, únicamente es necesario la luz solar y el aire húmedo (no necesariamente agua limpia) para que con esta pintura se pueda adquirir hidrógeno, una fuente de energía renovable muy ansiada. Igual que en el caso de la otra pintura expuesta, con una única capa de pintura se podría conseguir que un edificio fuera autosostenible, trabajando en su eficiencia futura.

1.3.1 IMPACTO ECONÓMICO

Se debe trabajar el tema del rendimiento y eficiencia energética de estos nuevos productos para que la rentabilidad sea aún mayor, pero poder obtener energía eléctrica a partir de una sola capa de pintura en lugar de necesitar un panel solar completo supone un gran ahorro de fabricación y montaje [29].

No podemos hablar del impacto económico en el caso de la investigación desarrollada en el RMIT ya que aún es demasiado pronto para conocer resultados. A pesar de que su pintura no ha empezado a ser comercializada, se puede prever un futuro prometedor.

1.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

La necesidad de desarrollo de energías renovables es evidente en la sociedad actual. Las existencias de petróleo como fuente principal de energía tienen los días contados, y los tratados medioambientales impiden un uso excesivo del carbono con este fin (que, por otra parte, tampoco es un bien infinito, aunque si más abundante actualmente). Estas pinturas solares permiten generar electricidad a partir de la energía solar, respetando y cuidando el planeta al no consumir recursos ni contribuir a su contaminación.

1.4 HORMIGÓN AUTOREPARABLE

A pesar de que sus características se alejan de las que se llevan analizando hasta ahora (sostenibilidad y eficiencia energética) es necesario hacer alusión a este nuevo material que surge en el mundo de la construcción por tratarse de una innovación más propia de la ciencia ficción: el bio-hormigón u hormigón autorreparable [18].

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en edificación y encontrar uno que pudiera reparar por sí mismo sus grietas supuso una impactante revelación. El logro se atribuye al Dr Henk Jonkers, microbiólogo de la Universidad de Delft, Holanda.

Esta capacidad 'autocurativa' la proporciona una bacteria del género *Bacillus*, capaz de producir piedra caliza para reparar microgrietas, siendo añadida en el proceso de fabricación de hormigón junto con lactato de calcio (necesario junto con oxígeno, que se obtiene a través del agua que se filtra por las grietas, para que la bacteria produzca la piedra caliza), nitrógeno y fósforo [32].

Este nuevo material permitiría alargar la vida útil del hormigón que, de otro modo, sería derruido al presentar grietas de tamaño superior a 0'2 milímetros, según la norma (siempre y cuando no pueda verse afectada la seguridad).



Figura 5. Hormigón autorreparable [Recuperado de CNN – *The ‘living’ concrete that can heal itself*]

1.4.1 IMPACTO ECONÓMICO

Aunque este descubrimiento no suponga un abaratamiento de los costes de producción del hormigón, sí presenta ventajas económicas a largo plazo.

El hecho de poder mantener una estructura durante más años implica un ahorro económico. De otra manera se deberían tener en cuenta los gastos de derriber la edificación en cuestión y los del nuevo levantamiento.

1.4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Tal vez no sea un material verde como los estudiados hasta ahora, no recicla ningún tipo de residuo (aunque, igual que ocurría con las tejas y los ladrillos, también existe un hormigón ecológico que sí lo recicla) ni proporciona energía como la pintura solar. Lo que sí consigue es una menor contaminación, ya que evita la nueva producción de hormigón pudiendo autorepararse.

Si bien es cierto que nuevas investigaciones se están desarrollando, como la del País Vasco llevada a cabo por la investigadora Idurre Kaltzakorta, en la que se introducen microcápsulas de sílice que permitan almacenar calor y eviten tanto gasto energético en los edificios.

CAPÍTULO 2. INDUSTRIA TEXTIL

Otro de los sectores industriales en el que se pueden encontrar opciones cada vez más respetuosas con el medioambiente es en el textil. Dada la sociedad consumista de la que todos formamos parte (especialmente en los países más desarrollados), un gran porcentaje de la contaminación anual se debe a la producción y transporte de prendas.

El mundo de la moda permite el movimiento de grandes capitales a nivel global, pero también supone un importante consumo de recursos naturales. Tal y como expone Stephen Emmott, director de Ciencias Informáticas de Microsoft, profesor de esta misma disciplina y de biología, en su famosa conferencia *Ten Billions*, nueve mil litros de agua son necesarios para hacer un simple pijama, además de alegar que el ritmo de consumo de agua en el planeta es insostenible [1].

Por este motivo, del que cada vez somos más conscientes, empresas textiles han decidido invertir en producción sostenible o lanzan campañas de reciclaje de ropa, como puede ser el caso de Zara, entre muchas otras. La empresa española ha sacado en 2020 una colección completa de piezas de ropa fabricadas a partir de retales sobrantes de la creación de vestimentas anteriores, aunque lleva varios años produciendo piezas a partir de materias primas y procesos más sostenibles (como algodón orgánico) que etiqueta con el nombre de 'join life'.

Parte de las investigaciones en ciencia de los materiales se destinan a este propósito: encontrar tejidos más respetuosos con el medioambiente, pero también se buscan materiales con propiedades diferentes o que aumenten la calidad de las prendas: mayor elasticidad en algunos casos, más rigidez en otros, ligereza u otras.

En este capítulo se abordará el estudio de algunas de las revelaciones más impactantes de este campo industrial.

2.1 SEDA DE ARAÑA ARTIFICIAL

Las propiedades de la seda de araña son excepcionales: tiene una alta tenacidad y elasticidad que pueden resultar interesantes en la industria textil, pero también tiene ciertas características de interés para biomedicina.

A continuación se puede apreciar una tabla comparativa entre tres propiedades (presión soportada, elasticidad y tenacidad) de diversas sedas de arañas, el Kevlar (material del que se abordará su estudio a continuación de la seda) y un acero altamente resistente [33].

Table 1 Mechanical properties of five types of spider silk, Kevlar and high-tensile steel.			
Material	Strength (GPa)	Extensibility (%)	Toughness (MJ m⁻³)
Dragline silk (<i>Araneus diadematus</i> , <i>Araneus sericatus</i> , <i>Araneus gemmoides</i> , <i>Argiope trifasciata</i> , <i>Argiope argentata</i>) ^{2,66-68}	0.88-1.5	21-27	136-194
Flagelliform silk (<i>A. diadematus</i> , <i>A. sericatus</i> , <i>A. argentata</i>) ^{2,66-68}	0.50-1.3	119-270	75-283
Cylindriform silk (<i>A. argentata</i> , <i>A. gemmoides</i>) ^{66,69}	0.48-2.3	19-29	95
Minor ampullate silk (<i>A. argentata</i> , <i>A. gemmoides</i>) ^{66,69}	0.92-1.4	22-33	137
Aciniform silk (<i>A. argentata</i>) ⁶⁶	1.1	40	230
Kevlar 49 (ref. 2)	3.6	2.7	50
High-tensile steel ²	1.5	0.8	6

Figura 6. Tabla comparativa de las propiedades de distintas seda de araña, acero altamente resistente y Kevlar [Recuperado de Toward spinning artificial spider silk - doi: 10.1038/nchembio.1789]

Haciendo un análisis comparativo con el acero, en el peor de los casos (Cylindriform silk) la seda es casi 16 veces más tenaz y cerca de 40 veces más elástica que éste, mientras que la resistencia a la presión no es muy inferior e incluso superior en algún caso. Este resultado no deja indiferente y es suficiente para explicar el atractivo de este material en la industria textil, que permite fabricar fibras altamente resistentes y flexibles [33].

Las excelentes propiedades mecánicas de la seda de araña la convierten en una fibra de elevadas prestaciones (también por su biodegradabilidad), pero el proceso de obtención de forma natural con arañas en cautividad es caro y complicado. Por este motivo se produce la búsqueda de fibras artificiales con características similares a la seda de araña, que se aproximen estructura y cualidades mecánicas.

El proceso biológico por el que las arañas fabrican su seda compuesta por proteínas (espidroína) presentes en una solución acuosa en las glándulas de los arácnidos es un procedimiento complejo. Se han logrado caracterizar las espidroínas de longitud completa, se han secuenciado dos genomas de araña e identificar el medio en diferentes partes de las glándulas del animal, lo que ha permitido fabricar fibras artificiales de gran longitud a partir de una solución acuosa de proteína artificial [33].

2.1.1 IMPACTO ECONÓMICO

La producción de seda de araña a partir de este animal es un procedimiento caro y complicado, ya que en cautividad no se produce la misma cantidad de seda ni al mismo ritmo al que se obtiene en un proceso industrial. La posibilidad de fabricar esta seda de forma artificial requiere menor tiempo de fabricación y omite la necesidad de cuidados al arácnido, lo que supone un impacto económico positivo.

2.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El impacto medioambiental de poder fabricar fibras altamente resistentes y flexibles de un material completamente biodegradable sería muy elevado. Multitud de fibras que contienen plásticos o no reciclables se podrían obtener a partir de este nuevo material completamente sostenible, que se obtiene a partir de proceso respetuoso con el medioambiente.

Casi un millón de toneladas anuales de ropa son desechadas anualmente en España: un ciudadano se desprende anualmente de una media de 30 o 40 kilos de textiles de los que un bajo porcentaje es reutilizado, donado o reciclado (un 10%). La producción industrial de seda artificial de araña permitiría obtener un material con altas prestaciones que, además, evitaría la emisión de toneladas de CO₂ a la atmósfera al tratarse de un material biodegradable (reciclable 100%) [34].

2.2 'CUERO' DE MICELIO DE HONGOS

Otra de las opciones verdes en la actualidad en la industria textil es el empleo de micelio de hongos como sustitución del cuero o piel de origen animal.

El micelio constituye la parte de crecimiento vegetativo de los hongos y está compuesto por numerosos grupos de hifas, unos filamentos pluricelulares de rápido crecimiento encargados de transportar el alimento [35].

Una de las empresas pioneras en la fabricación de este 'cuero' es la estadounidense de biotecnología *Bolt Threads*. Recientemente se produjo la creación del material que han nombrado *Mylo*, aunque no se trata de su primer lanzamiento de un material sostenible y respetuoso con el medioambiente. Otro de sus productos más conocidos es *Microsilk*, un tejido de características similares a la seda de araña (cap. 2.1) elaborada a partir de jarabe de maíz fermentado [36, 37].

Las redes de micelio crecen en una relación simbiótica con las sustancias que confeccionan su alimento [38]. En el caso de *Mylo*, las células de micelio se

colocan sobre tallos de maíz y se proporcionan las condiciones de temperatura y humedad más apropiadas para su crecimiento. La velocidad de reproducción de las hifas es increíblemente elevada, pudiendo ser de hasta 1 mm/s. Así en muy poco tiempo se obtiene una red tridimensional que posteriormente será comprimida para reducirla a un tejido de dos dimensiones que puede ser teñido y debidamente tratado [37, 39].

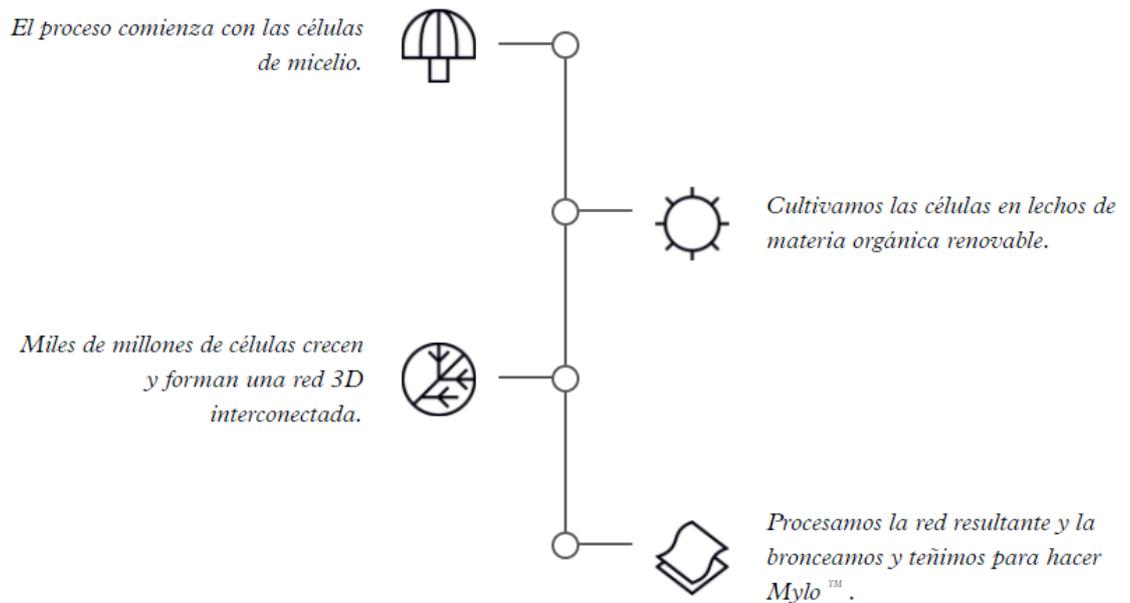


Figura 7. Fabricación de Mylo [Recuperado de Bolt Threads]

2.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

Volviendo sobre el caso de Mylo [37], sabemos que su producción puede producirse en horas frente al caso de la piel de procedencia animal que puede tardar hasta años en curtirse y teñirse. Toda reducción de tiempo de obtención se traduce en un menor gasto de cuidados y alimentación.

Al tratarse de material procedente del micelio, las primeras células pueden llegar a ser alimentadas por restos de desechos o basura orgánica que de otra forma no tendría ninguna utilidad. Sin embargo los animales deben ser alimentados debidamente y habitar en grandes extensiones de terreno, lo que nuevamente implica un desembolso económico. Por no hablar del agua empleada para su supervivencia y en el curtido del cuero animal y posterior tratamiento descontaminante [38].

Otro tipo de coste evitado es el de reciclado de las prendas obtenidas con este nuevo material, ya que son biodegradables.

2.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

La piel animal es utilizada en la fabricación de multitud de productos de consumo debido a sus excelentes propiedades de dureza, flexibilidad y durabilidad. La demanda (cada vez mayor al ser una población en constante crecimiento) de estos artículos supone la muerte de unos 350 millones de vacas, además de ovejas, cabras, visones y otros animales [38].

La crianza de ganado es una de las actividades más contaminantes y que más agua consumen del planeta, además de ocupar grandes extensiones de tierra. Un 70% del agua potable del planeta es destinada a la producción agrícola y es la responsable de un 25% de las emisiones de gases de efecto invernadero [1]. El 58% de estas emisiones (especialmente de CO₂, CH₄ y NO₂) corresponden al sector ganadero, lo que supondría aproximadamente el 15% de las emisiones totales cuya cifra desgraciadamente crece cada año [40].

Si este no es aún un motivo de peso para reemplazar la piel animal por un material sostenible, biodegradable y de origen vegetal como es el micelio, se puede añadir la necesidad de emplear productos químicos para el tratamiento del cuero, que involucra una gran cantidad de agua. El curtido de este material suele realizarse con cromo que, además de requerir abundante agua, puede convertirse en una sustancia cancerígena [38]. Este proceso resulta altamente peligroso y aún después de tratado, el cuero puede traspasar a la piel algunos resquicios.

La start-up de San Francisco *MycoWorks* también ha optado por un cuero alternativo biodegradable formado por micelio y celulosa de algodón, de propiedades muy similares a las del cuero animal [38]. La fabricación de su material emplea un mínimo de aditivos químicos, utilizando solo pequeñas cantidades de agua y polietilenglicol (PEG). De igual forma, *Mylo* también evita el curtido por cromo [37].

No son las únicas empresas ni las únicas soluciones al problema de la industria peletera, que también utiliza otro tipo de residuos como cáscaras de algunas frutas para sintetizar cuero. Al final, se trata de encontrar una opción biodegradable alternativa al uso de plásticos en pieles sintéticas que acaban en vertederos, cuyo proceso de fabricación sea lo más respetuoso posible con el medioambiente.

2.3 FIBRA DE POSOS DE CAFÉ

La empresa taiwanesa SINGTEX decidió fabricar una fibra con los posos de café que son desechados y botellas de agua [41] bautizada como S.Café,

resultando un material con unas atractivas características: desodorizante, de secado rápido, resistente a los rayos ultravioletas del sol y capaz de descender uno o dos grados centígrados la temperatura del cuerpo en condiciones de calor [42]. Han patentado un proceso de fabricación a baja temperatura, alegando que para la confección de una camiseta serían necesarias cinco botellas de agua y tres tazas de café [43].

En SINGTEX han puesto a prueba su producto con diversos test que permiten concluir que S.Café es capaz de proteger de los rayos UV cinco veces más que el algodón, triplica la capacidad de contención de los olores y casi duplica la velocidad de secado [44]. Debido a los resultados del poder de retención de olores del café, varias marcas conocidas de deporte como Nike, Puma, New Balance o The North Face incluyen este tejido en sus prendas [45].

De este modo se puede obtener un tejido con propiedades sobresalientes frente a otros existentes de una forma respetuosa con el planeta y que contribuye al desarrollo de la economía circular, obteniendo su materia prima de residuos y permitiendo ser transformado en abono al final de su vida útil.

2.3.1 IMPACTO ECONÓMICO

La demanda de café así como la construcción de lugares específicos para su venta como Starbucks se ha visto incrementada en los últimos años. S.Café no requiere una inversión de tiempo ni energética para adquirir la materia prima con la que fabrican sus fibras [45], ya que la industria del café está constantemente desechando posos y restos (se calcula que sólo en Reino Unido 2500 millones de tazas de café son acumuladas en vertederos cada año [41]). No es necesario, por tanto, ninguna inversión económica en un proceso costoso de obtención de los sedimentos de café ni existe escasez de éstos.

2.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Únicamente el 0.2% de cada taza de café es realmente consumido [43], siendo el porcentaje restante un residuo más almacenado en los vertederos.

La fabricación de una fibra con los posos del café supone no solo el reciclaje de los posos de café, sino un ahorro energético en la producción de textil y una disminución de la huella industrial.

La búsqueda de alternativas al algodón y el cuero en nuestras prendas ha aumentado a la vez que lo ha hecho la concienciación de la sociedad y empresas acerca de la contaminación. Estos dos materiales utilizan pesticidas contaminantes, grandes cantidades de agua y de energía en su fabricación. El 25% de los pesticidas son utilizados en los cultivos de

algodón, lo que supone un peligro por la toxicidad de estos y una alta contaminación del agua [44].

S.Café demuestra la posibilidad de un futuro en el que nuestra ropa sea sostenible, de material reciclado y reciclable, que contribuya a disminuir la huella de carbono que genera la industria textil (la segunda más contaminante del mundo) y la polución y derroche del agua (para conseguir un kilo de algodón se necesitan entre 6000 y 10000 litros de agua) [46].

CAPÍTULO 3. INDUSTRIA ELECTRÓNICA

A finales de los años 70 apareció la primera computadora, y desde entonces la vida ha cambiado por completo gracias a la tecnología electrónica. En apenas cincuenta años se han desarrollado multitud de investigaciones y, en consecuencia, han surgido gran cantidad de productos electrónicos: desde algo tan cotidiano a día de hoy como pueden ser los ordenadores o teléfonos móviles, hasta drones o robots colaborativos.

La presencia de la electrónica en la rutina del hombre puede pasar desapercibida, pero se está en contacto constante con ella: en el ascensor, en el coche, autobús o metro, en alarmas, en gran cantidad de productos de consumo: televisiones, tablets, smartphones, consolas, lavadoras, microondas... Por no hablar de su importantísimo papel en control de multitud de procesos industriales a través de los que se obtienen productos de primera necesidad, ropa u otro tipo de artículos.

La vida moderna es inconcebible sin la electrónica, pero su producción tiene unas consecuencias y, en este caso, un elevado costo medioambiental, entre otras. Son miles de millones de productos electrónicos los que se fabrican, venden y retiran cada año, lo que supone una elevada cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero en el proceso de elaboración al utilizar combustibles fósiles y toneladas de la llamada basura electrónica que tienen la capacidad de contaminar agua y atmósfera (en 2017 fueron desechados 65.4 millones de toneladas de residuos electrónicos de los que apenas se reciclaron un 15%) [47].

Por este motivo nace la necesidad de un cambio en el sector electrónico y comienza la búsqueda de materiales alternativos, la eliminación de PVC y otras sustancias tóxicas de los productos, el aumento de la durabilidad de los dispositivos, el uso de materiales reciclados y de energías renovables en la producción.

3.1 LUCES LED

El principio de funcionamiento de estos dispositivos es la electroluminiscencia: propiedad de algunos cuerpos de emitir luz al pasar de una corriente eléctrica a través de ellos. Un LED (diodo emisor de luz) no es más que un componente electrónico de un material semiconductor que, al ser traspasado en sentido correcto por una corriente eléctrica, emite luz monocromática (el color depende del material utilizado) sin disipar calor. La longitud de onda, y por tanto el color de la luz, depende del material utilizado [48].

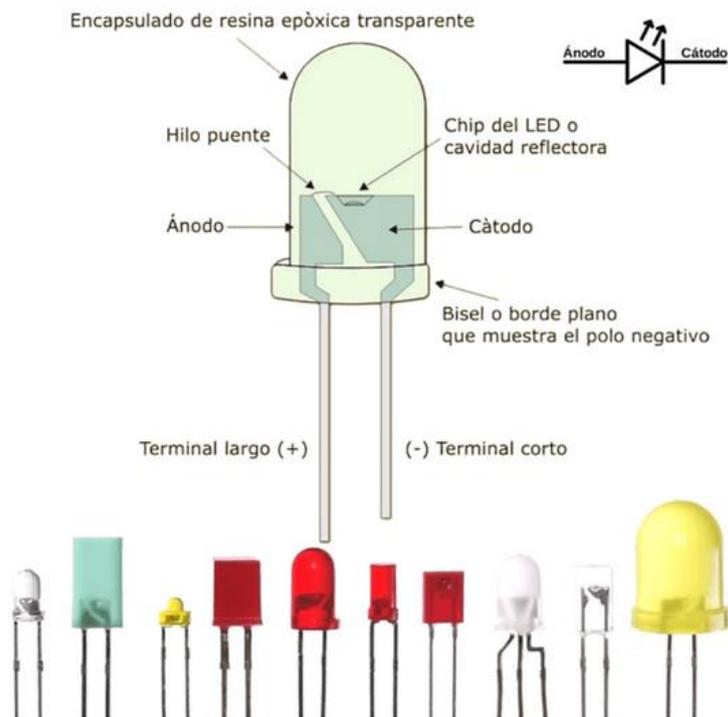


Figura 8. Diodo LED [Recuperado de Google Imágenes]

El descubrimiento de la luces LED se atribuye a Nick Holonyak, un científico estadounidense que creó el diodo emisor de luz roja en 1962, aunque años antes se habían desarrollado unas luces LED que emitían luz infrarroja y no podía ser apreciada por el ojo humano. Con motivo de este hallazgo, comenzaron las investigaciones para encontrar un dispositivo similar que irradiara luz verde, consiguiéndolo 5 años después un alumno universitario de Holonyak. Aunque las complicaciones no aparecieron hasta la hora de encontrar un material que proporcionara la luz azul, que llegó en 1994, más de 30 años más tarde [49][50].

En 2014 los investigadores japoneses Isamu Akasaki, Hiroshi Amano y Shuji Nakamura (nacionalizado estadounidense) recibieron el premio Nobel de Física por el mencionado descubrimiento de los diodos emisores de luz azul, ya que supuso un antes y un después en iluminación [51]. Con la luz azul, sumándola a la ya existente verde y roja pudo obtenerse la luz blanca.

Debido a su pequeño tamaño y su elevada vida útil, los LED han supuesto la sustitución de las lámparas incandescentes, ya que son dispositivos que emiten luz más brillante, rara vez se funden y no se calientan, además de no ser necesario esperar para que se enciendan [50]. A día de hoy están presentes en pantallas de televisores, móviles, en mandos a distancia, en las luces de los automóviles, displays electrónicos... pero la verdadera revolución es su uso como fuente de iluminación en sustitución a las lámparas convencionales.

3.1.1 IMPACTO ECONÓMICO

La sustitución de los fluorescentes y las bombillas por este otro tipo de luz puede suponer un elevado ahorro económico a largo plazo. La duración de los LED es 10 veces mayor que la de un fluorescente y 100 veces mayor que la de una bombilla, de forma que se deben llevar a cabo un número muy inferior de sustituciones y por tanto, se produce un menor gasto económico aunque la inversión inicial sea superior en el caso de comprar una lámpara LED [51].

Además, la potencia requerida para alimentar estos dispositivos electrónicos es muy baja, por lo que la electricidad requerida puede ser suministrada en lugares más pobres que no disponen de grandes redes eléctricas [51].

Su alta eficiencia también se traduce en un ahorro energético que, además de favorecer al medioambiente, provoca una reducción en los gastos.

3.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Las bombillas LED son más eficientes que otros sistemas de iluminación, ya que apenas disipan energía en forma de calor, al contrario que ocurre con otras bombillas tradicionales.

También requieren de baja tensión para ser alimentadas, lo que se traduce en una menor demanda energética (40% inferior) y, por tanto, en una menor contaminación producida por este sector [48].

Otra de las ventajas de estos dispositivos es la ausencia de gases o compuestos tóxicos en ellos, a diferencia de fluorescentes de mercurio que a la hora de retirarlos suponen un residuo tóxico y nocivo para el medioambiente. También se produce una reducción en material de embalaje (plásticos entre otros) al no incluir tubos de cristal y ser resistentes a la rotura [52].

Su larga vida útil conlleva la necesidad de una menor producción y, en consecuencia, menor emisión de CO₂. Si se compara a los LED con otras

formas de iluminación más empleadas en la actualidad, se puede apreciar como su eficiencia junto con su larga vida útil proporciona las mejores características:

Tabla comparativa de características de las fuentes de luz actualmente más usadas en iluminación			
Tipo de lámpara	Eficacia (lm/W)	Tiempo de vida (h)	IRC
▶ Halógena	20	1.200	100
▶ Halogenuros metálicos	70 - 108	15.000	90
▶ Fluorescente	60 - 100	8.000	80
▶ Sodio baja presión	120 - 200	16.000	25
▶ Sodio alta presión	95 - 130	28.000	45
▶ LED	90 - 120	>50.000	>75

Figura 9. Tabla comparativa de luces LED con otras fuentes de iluminación comunes [Recuperado de Cel Fosc - La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica]

Aunque hay otras fuentes con una eficacia superior (medida en lumen por watio), tienen un tiempo de vida inferior al de los LED (que puede alcanzar las 100 000 horas) y un índice de reproducción cromática menor (la capacidad de mostrar los colores de una forma más cercana a la iluminación natural), lo que convierte a los diodos emisores de luz en una gran alternativa a otros sistemas de iluminación artificial y respetuosa con el medio ambiente.

3.2 UPSALITA

La denominación de este nuevo material se debe al nombre de la universidad donde fue descubierto: la Universidad de Uppsala, en Suecia.

Se trata de una nanoestructura de carbonato de magnesio, con unos poros de tamaño inferior a 6 nm y un área de superficie de 800 m²/g, la más alta medida hasta el momento para un carbonato de metal alcalinotérreo. La upsalita se obtiene a baja temperatura a partir de una disolución de metanol y MgO con CO₂, resultando una nanoestructura estable y amorfa [53]:

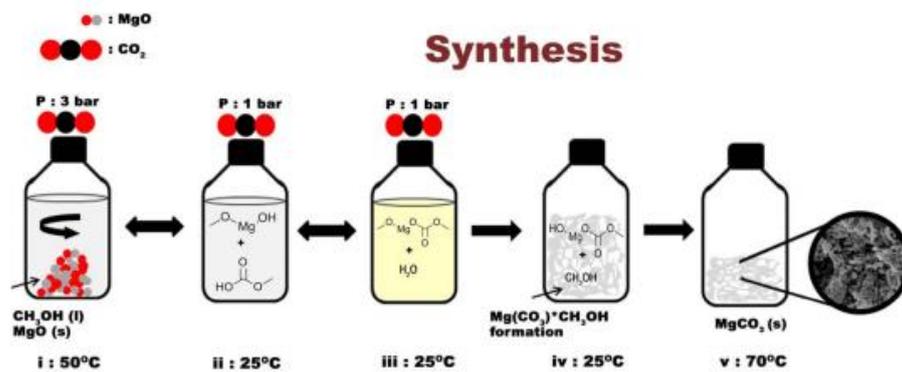


Figure 2. Synthesis of Upsalite. **i)** In the first step MgO (s) is mixed with methanol under 3 bar CO₂ pressure at 50°C. **ii)** After 2.5 h the HOMgOCH₃ is formed in the solution, the pressure is lowered to 1 bar and the heating is turned off. At the same time the methanol reacts with the CO₂ and forms CH₃COOOH (methyl hemicarboxylic acid). **iii)** HOMgOCH₃ reacts with CH₃COOOH and forms water and H₃COCOOMgOCH₃ (methyl ester of magnesium methyl carbonate). At this point the solution changes colour from white to light yellow. **iv)** H₃COCOOMgOCH₃ reacts with the water formed in step iii) and forms HOMgOCOCH₃ (or MgCO₃·CH₃OH) which upon **v)** heating at 70°C releases CH₃OH and forms MgCO₃.

Figura 10. Síntesis de la Upsalita [Recuperado de A Template-Free, Ultra-Adsorbing, High Surface Area Carbonate Nanostructure - doi: 10.1371/journal.pone.0068486]

Estas características convierten a este material en el más absorbente conocido hasta ahora, capaz de hacerlo a bajas humedades relativas. Su capacidad de absorción es un 50% superior a la de la zeolita (mineral higroscópico comercializado), además de ser capaz de retener en un 75% el agua cuando la humedad se reduce de un 95% a un 5% a temperatura ambiente [53]. Otra de sus propiedades es su capacidad de recuperar la forma anhidra a una temperatura de 95°C, ya que las zeolitas necesitan ser calentadas a más de 150°C para recuperar su capacidad absorbente.

Las cualidades de este descubrimiento lo convierten en un material codiciado para la industria electrónica: incorporándolo dentro de equipos electrónicos se puede aumentar la vida útil de estos al absorber la humedad que puede deteriorarlos, especialmente en aquellos equipos más caros o sofisticados como los utilizados en medicina, ingeniería aeroespacial o en tecnología militar. También puede ser empleado en filtros industriales para controlar la humedad de distintos procesos, en administración de fármacos, absorción de tóxicos, olores e incluso para la recogida de vertidos de petróleo en el mar [54].

3.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

La upsalita permite un mejor control de la humedad ambiental, siendo necesario emplear menor energía y menos dinero en esta función de la industria [54].

A nivel individual, si los dispositivos electrónicos domésticos distribuidos contienen este material que controla las posibles humedades de su interior, se invertiría menos dinero en la reparación de electrodomésticos y otros productos de consumo. Televisores, teléfonos móviles u ordenadores tendrían más años de vida, lo que igualmente produce un ahorro económico.

Al ser necesarias temperaturas más bajas para recuperar la propiedad absorbente de la upsalita en comparación con otros materiales de similar aplicación, se precisa de una menor cantidad de energía y, por tanto, menor gasto.

3.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El menor recurso energético necesario para devolverle la forma anhídrida a la nanoestructura de carbonato de magnesio lleva implícita una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero y un menor consumo de recursos requeridos para producir ese calor, lo que mitiga el impacto medioambiental respecto a la producción de otros materiales que tengan el mismo fin [53]. También se produce un descenso en la demanda energética destinada al control de la humedad de distintos procesos industriales [54].

Entre sus aplicaciones se pueden encontrar aportaciones beneficiosas para el medioambiente, como la absorción de sustancias tóxicas existentes en aguas contaminadas o la recogida de petróleo en el mar [54].

Además de contribuir al ahorro económico, la posibilidad de que la upsalita sea incorporada en dispositivos electrónicos aumentando su vida útil, también contribuye al ahorro energético tan necesario para la conservación de recursos y mitigar la contaminación atmosférica.

3.3 INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La inteligencia artificial ha provocado grandes avances tecnológicos que contribuyen a mejorar la eficiencia de diversos procesos industriales pero también está presente en otros ámbitos diferentes al industrial, permitiendo una mejora general de la calidad de vida.

Esta reciente tecnología trata de que la electrónica adopte los pensamientos y comportamientos del ser humano y podemos encontrarla en multitud de servicios: desde el reconocimiento facial o de voz en el desbloqueo de teléfonos móviles, asistentes virtuales u otras aplicaciones de seguridad hasta el funcionamiento de robots colaborativos en la industria [55].

La inteligencia artificial lleva ligada diferentes controversias. En el caso de la automatización de procesos o tareas puede suponer una rentabilidad económica a largo plazo al empresario a la vez que supone un elevado número de despidos. Otra de las polémicas que suscita esta tecnología es en el caso de los coches autónomos: las ventajas de estos, como la reducción de tasas de accidentes producidos por errores humanos, la menor densidad de tráfico debido a una

conducción más eficiente o la posibilidad de ser utilizados por personas con algún tipo de minusvalía, se ven ensombrecidas por los problemas éticos que acarrearán, como qué persona sería atropellada en el caso de no haber escapatoria y tener que atropellar a una de dos personas posibles [56, 57].

Otra aplicación importante en auge en los últimos de la IA es el tratamiento de cantidades elevadas de datos (*big data*) por parte de diferentes empresas, buscando en ellos tendencias de los usuarios y realizando un análisis de sus gustos para acercarse más al consumidor y obtener beneficios económicos [57]. El tratamiento de estos datos en medicina permite desarrollar algoritmos de elevada utilidad en diagnóstico y tratamiento de diferentes enfermedades comparando casos y encontrando coincidencias que pueden pasar desapercibidas, en prevención o gestión de recursos [58]. La otra cara de la moneda es la invasión de privacidad y comercialización con los datos de la población, además del alto entrenamiento necesario de los algoritmos para que funcionen realmente de forma adecuada.

La inteligencia artificial tiene aún mucho que ofrecer, mejorar y resolver los problemas éticos que acarrea, pero también son muchos los beneficios que se pueden adquirir gracias a la IA, como ayudar a alcanzar un mundo más sostenible, reduciendo el consumo energético y facilitando soluciones a las políticas medioambientales [60].

Biodiversidad, agua, energía y transporte son áreas importantes de investigación para la IA en las que se manejan modelos de machine learning [60]. El *machine learning* (ML) o aprendizaje automático es un área dentro de la inteligencia artificial que hace uso de patrones y relaciones observados en conjuntos de datos y realiza predicciones a partir de ellos para crear modelos que pueden ser utilizados en investigación ambiental, económica o social [55-57].

3.3.1 IMPACTO ECONÓMICO

Uno de los mayores miedos que provoca la IA es la destrucción de empleos: los robots pueden realizar todos los trabajos repetitivos de forma más rápida, barata y precisa. Automatizar ciertos procesos industriales implica una fuerte inversión inicial, pero a largo plazo supone una rentabilidad económica para las empresas: supresión de gran cantidad de sueldos, posibilidad de doblar turnos de trabajo y, por tanto, de producción, mayor precisión en las tareas de forma que los productos defectuosos y las pérdidas serán menores, etcétera.

La pérdida de puestos laborales debe paliarse a través de las políticas gubernamentales que deberán centrarse en las nuevas posibilidades de empleo que se crearán asociadas a esta tecnología y la reconversión de los existentes, para los que será necesaria una alta cualificación [61]. Serán aquellas personas con un menor nivel de educación

o trabajos muy monótonos los que pueden enfrentarse a la falta de oficios. La Comisión Europea hace la petición de una educación en digitalización para la ocupación de los 900 000 empleos que serán necesarios de forma temprana [61].

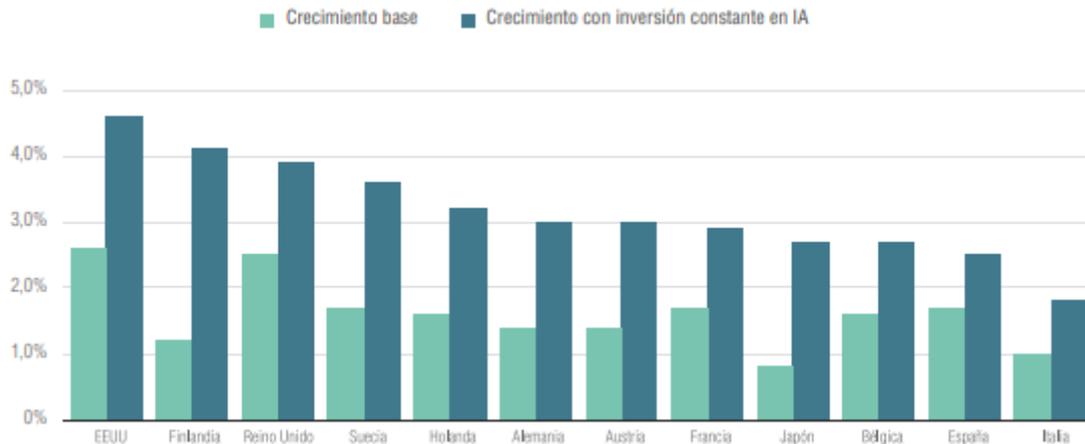


Figura 11. Previsión del crecimiento del PIB anual de distintos países para 2035 con y sin incorporación de la IA en la economía [Big Data e Inteligencia Artificial. Una visión económica y legal de estas herramientas disruptivas]

La digitalización junto con la descarbonización y cuidado del medioambiente provocarán según estudios realizados [62] un crecimiento del PIB a la vez que se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, estimando que en 2030 el uso de la inteligencia artificial en aplicaciones de sostenibilidad habrá incrementado el PIB global entre un 3.1% y un 4.4% mientras se disminuyen los GEI entre un 1.5% y un 4%.

Apreciamos que entre los datos aportados está que las aplicaciones de la IA en agricultura, agua, energía y transporte pueden sumar una un total de 3.6 a 5.2 trillones de dólares de beneficios en productividad en 2030 [62].



Figura 12. Resultados de implementar IA en aplicaciones de sostenibilidad [Recuperado de Microsoft in association with PwC - How AI can enable a Sustainable Future]

3.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

En 2015 las Naciones Unidas establecieron los denominados ‘objetivos de desarrollo sostenible’ (SDGs), cuyo fin es erradicar la pobreza, promover la prosperidad y el bienestar, proteger el medio ambiente y combatir el cambio climático. El análisis del uso de la inteligencia artificial sobre estos objetivos concluye que puede permitir el logro de 134 de ellos, pero también puede impedir el desarrollo de otros 59 objetivos [60].

La aplicación de IA con fines medioambientales puede suponer la reducción de hasta 2.4Gt de CO₂ en 2030 [61], lo que podría acercar al cumplimiento del objetivo de mantener el ascenso de la temperatura del planeta por debajo de los 2 °C.

Esta tecnología ayuda al control eficiente de producción industrial (disminuyendo la energía necesaria) y contribuye al desarrollo de la agricultura de precisión, siendo esta una de las actividades más contaminantes. En el sector energético la IA puede conseguir una mayor eficiencia gestionando de forma adecuada la demanda y el suministro, además de optimizar posibles soluciones [60, 62].

Otros de los avances respetuosos con el medioambiente se encuentra en el transporte de personas con el desarrollo de coches eléctricos, más eficientes y más recientemente con el progreso de los coches autónomos [60, 62]. Estos avances permiten un ahorro de combustible, reduciendo la extracción de petróleo y la contaminación de la atmósfera.

3.4 GRAFENO

Este prometedor material fue descubierto en 2004 por Andre Geim y Konstantin Novoselov, profesor y alumno de la Universidad de Manchester al despegar una lámina de celo previamente pegada en un trozo de grafito [63].

El carbono es uno de los elementos químicos con mayor presencia en el planeta que posee una propiedad llamada alotropía: la capacidad de manifestarse en más de una forma en el mismo estado físico, en función de la cual varían sus propiedades. Una de las formas alotrópicas del carbono es el grafeno cuya configuración es una red bidimensional de forma hexagonal, de un espesor de un solo átomo [64].

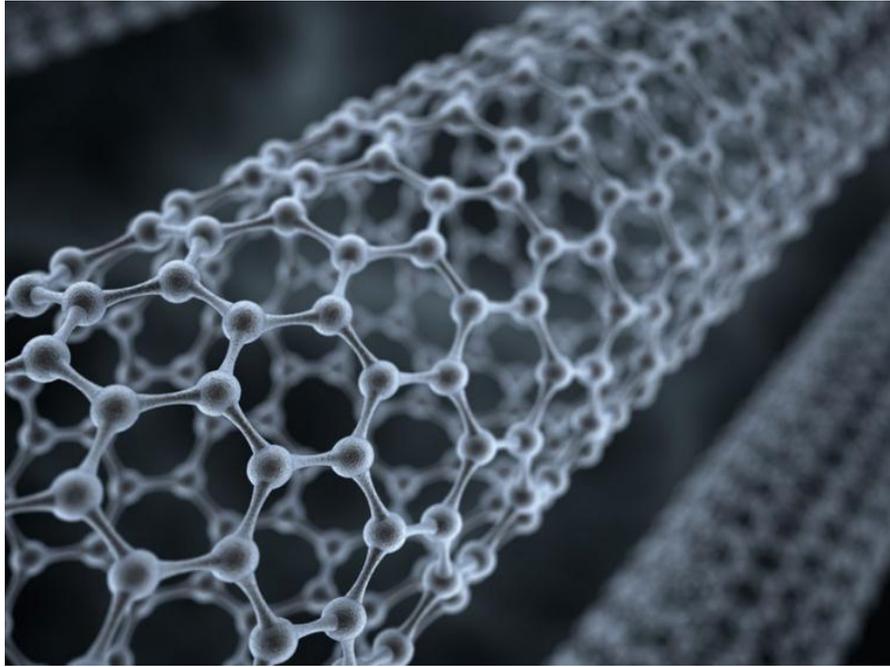


Figura 13. Estructura molecular del grafeno [Recuperado de Energy News- Este proyecto estudia las aplicaciones del grafeno en el sector energético]

Uno de los métodos de obtención del grafeno es la exfoliación mecánica, que fue el primer método utilizado en 2004 cuando se produjo su descubrimiento. Esta técnica se ha ido perfeccionando con el paso del tiempo y actualmente se realiza frotando grafeno pirolítico altamente orientado (es la forma de grafito sintético de mayor calidad) contra una superficie de silicio o de dióxido de silicio. Pero se trata de un proceso de obtención lento al hacerse de forma manual, por lo que también se ha desarrollado otras técnicas [64].

Su configuración le proporciona a este material unas propiedades especiales e interesantes para diversos sectores como la arquitectura, la electrónica, la medicina, la aeronáutica, etcétera. Le caracteriza su elevada dureza, su alta resistencia y flexibilidad y su ligereza, además de tratarse de un excelente conductor eléctrico y térmico a pesar de no formar parte de los metales [65].

Dentro de la electrónica abre la puerta a la posibilidad de fabricar pantallas (como la desarrollada por FlexEnable) curvas o incluso dispositivos plegables dada su transparencia, flexibilidad y resistencia [64].

Otra de las aplicaciones dentro de este campo es en la elaboración de baterías más duraderas y de mayor vida útil, tanto para dispositivos electrónicos (teléfono móvil, ordenador u otros) como para mejorar las baterías de los coches eléctricos y, por tanto, incrementar la autonomía de estos. La investigación llevada a cabo en la Universidad de Warwick [66] ha permitido duplicar la vida de las baterías recargables de ion-litio, reemplazando el grafito (presente normalmente en

el ánodo de estas baterías) por una mezcla constituida por partículas de silicio y grafeno.

El desarrollo de transistores y procesadores de altísima velocidad también es posible gracias a este material: el grafeno permite una movilidad de los electrones 200 veces superior a la del silicio . El lanzado en 2011 por IBM consiguió trabajar a una frecuencia de hasta 155 GHz, doblando la capacidad del hallazgo anterior [67].

Otro de los muchos y variados campos de aplicación de este material es en la construcción de placas solares. Normalmente están compuestas de silicio, pero su producción es muy costosa, además de contaminante. La pureza del silicio necesaria para la fabricación de celdas solares es muy elevada, de un 99.9999%, y recibe el nombre de silicio de grado electrónico. Son necesarias temperaturas muy elevadas en el proceso (que por otra parte resulta bastante contaminante), uno 1500 °C, lo que se traduce en una alta demanda energética [68]. Por este motivo, la alternativa del grafeno en el sector de la energía solar, podría ser bastante interesante.

3.4.1 IMPACTO ECONÓMICO

Aunque queda un largo camino que recorrer en cuanto al perfeccionamiento de las técnicas de obtención del grafito, para producirlo en grandes cantidades de una forma más económica, sí se pueden analizar ciertas ventajas en las aplicaciones mencionadas.

La utilización de grafeno en la fabricación de placas solares produciría un incremento en la eficacia de estas, y por tanto mayores ganancias, ya que con menor superficie de celdas solares se conseguiría obtener mayor cantidad de electricidad. Además, el proceso de obtención de silicio es de un elevado coste energético [68] ya que se realiza a altas temperaturas, por lo que se produciría también un ahorro en ese sentido.

Algunos ensayos demuestran que un microprocesador de silicio de 4 GHz podría alcanzar velocidades de hasta 4 THz si fuera de grafeno, empleando únicamente un 1% de la electricidad utilizada en el caso del de silicio [69]. Gracias a este material podemos obtener dispositivos en los que se ha multiplicado el rendimiento y con baterías mucho más duraderas.

3.4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Las evidentes ventajas económicas a la hora de producir placas solares de grafeno son acompañadas de otras medioambientales: al evitar esas altas temperaturas necesarias en la obtención de silicio con una elevada pureza, los efectos negativos como la expulsión de grandes cantidades de CO₂ en la quema de combustibles son paliados. Dentro de este mismo sector, la fabricación de células fotovoltaicas a partir de silicio

también se producen residuos tóxicos como polvo de sílice, Triclorosilano (SiHCl_3), que es moderadamente tóxico en caso de ingestión o inhalación, Óxicloruro de fósforo (POCl_3), que es tóxico luego de inhalación o ingestión o Ácido Clorhídrico (HCl), que es un ácido corrosivo [68]. La emisión de todas estas sustancias contaminantes es evitada si se usa grafeno como alternativa manufacturera.

Prolongar la autonomía de las baterías de los coches eléctricos también supone un avance importante para promover el uso de estos y contrarrestar el fuerte impacto medioambiental del uso de los vehículos no sostenibles.

En el caso de las baterías de los dispositivos electrónicos de consumo, la mejora del rendimiento de éstas podría evitar la temprana retirada de móviles, ordenadores u otros, y, por tanto, su acumulación en vertederos en forma de basura electrónica.

CÁPITULO 4. INDUSTRIA ENERGÉTICA

La energía es el motor de la sociedad tal y como se conoce en la actualidad. Es imprescindible en la rutina diaria de gran parte del planeta: desde la electricidad en nuestras casas para la iluminación, cocinar, el funcionamiento de electrodomésticos, para la carga dispositivos electrónicos, etc., es requerida en los procesos industriales y de fabricación de productos de consumo como ropa, comida u otros, necesaria en el transporte: aviones, barcos, coches..., en actividades de ocio y muchas más. Pero aún son muchas personas las que no tienen acceso a electricidad, exactamente mil doscientos millones [70] y dependen de combustibles como la madera, causando problemas como la deforestación e incrementando las emisiones de CO_2 .

Uno de los objetivos de las Naciones Unidas es poder proporcionar acceso a energía de calidad y sostenible en aquellos rincones del planeta más desfavorecidos, especialmente en África e India, en el que puede ser fundamental el papel de las energías renovables [70].

En 2009, el 90% de la energía primaria tenía su origen en combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo o el gas natural [71]. El uso de estos recursos conlleva el agotamiento de los mismos, al tratarse de materiales no renovables cuyo ritmo de consumo es creciente. Su utilización libera grandes cantidades de CO_2 a la atmósfera, contribuyendo al efecto invernadero y a la destrucción y alteración de los ecosistemas. Además, el deseo de posesión de los mismos provoca conflictos políticos y militares [72].

Una de las medidas que pueden contribuir a cumplir los objetivos del acuerdo de París es la implementación de formas de energía renovables que persigan una economía baja en carbono, además de tratar de reducir el consumo energético. En 2015 la contribución de las energías renovables al consumo energético global creció hasta casi un 19%, siguiendo una tendencia ascendente desde 2010. Su aportación creció hasta ser el 60% de toda la nueva electricidad en el año 2017, siendo la solar la más desarrollada. El crecimiento y los avances realizados en este sector permiten un abaratamiento de los costes derivados de producir energía de forma respetuosa con el medioambiente. El coste de producir electricidad a partir de energía solar ha disminuido un 73% entre 2010 y 2017, y un 23% en el caso de la eólica [73].

IRENA, la Agencia Internacional de Energías Renovables, creó el llamado REmap, un mapa de ruta para duplicar el uso de energía renovable en todo el mundo para 2030 [74], que además proporciona un diálogo entre países acerca de políticas e inversiones. En este plan se determina que la disminución de emisiones de CO₂ debe reducirse en un 70% para 2050 respecto al caso de referencia, determinado a partir de las políticas vigentes y tendencias actuales [73]. En la figura siguiente se puede observar la alta reducción (94%) de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera si se adoptan las medidas propuestas en el llamado REmap y la comparativa con la tendencia actual:

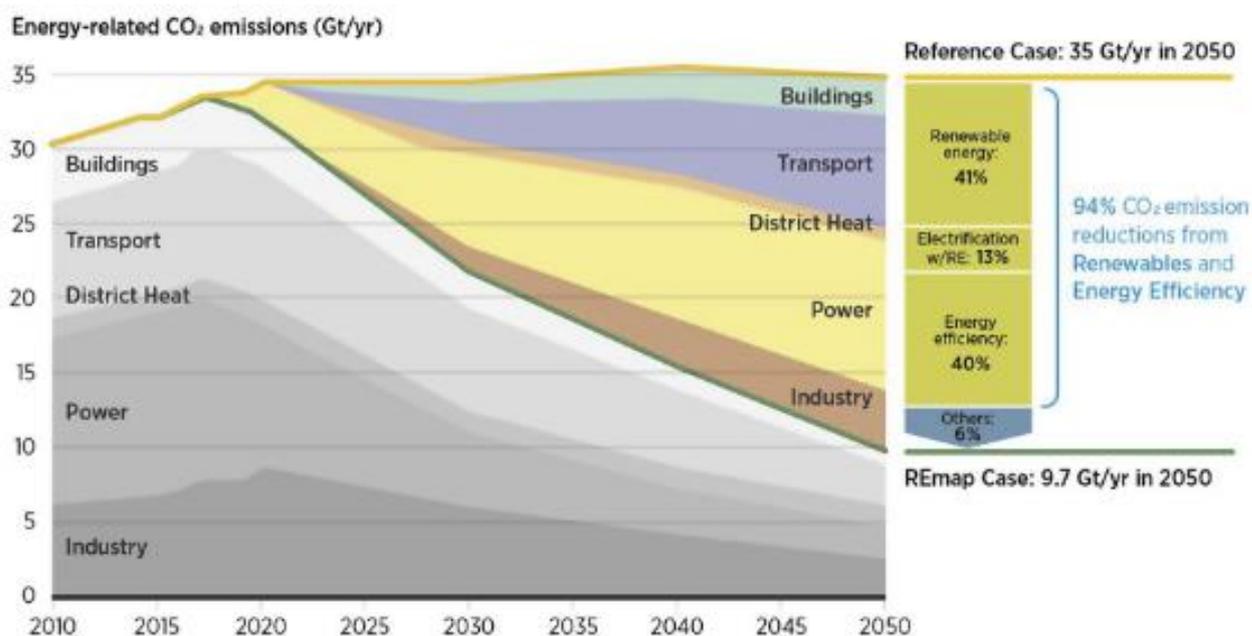


Figura 14. Reducción de emisiones de CO₂ al adoptar las medidas del plan REmap de IRENA [Recuperado de IRENA –A road map to 2050]

Dentro de las formas de energía renovable más estudiadas y desarrolladas se hallan la eólica y la solar, que fueron las de mayor contribución en el año 2019: 1.4 EJ la primera de ellas y 1.2 EJ la solar [75]. Otras contribuyentes a un

abastecimiento energético menos contaminante son la energía hidráulica, la geotérmica, o la energía mareomotriz.

Las energías renovables, acompañadas de la reducción de la demanda de energía y el incremento de la eficiencia de obtención de ésta, podría representar más del 80% de las reducciones de emisiones de CO₂. Para ello sería necesario utilizar la electricidad procedente en su mayoría de fuentes renovables, especialmente en el sector del transporte y el industrial debido a su alta demanda energética y responsabilidad en las emisiones, pero también implementar técnicas de captura del dióxido de carbono presente en la atmósfera [76].

A pesar de ser concebidas como beneficiosas para el medioambiente (lo son en cuanto a la reducción de emisiones de GEI y el uso de fuentes de energía renovables), también tienen un impacto negativo, principalmente sobre la tierra, la fauna y la flora. Dentro de la energía solar, las placas fotovoltaicas pueden implantarse en tejados de forma que su impacto visual sea nulo. Sin embargo, los huertos solares sí ocupan amplias extensiones de terreno que modifican el entorno aunque no contaminan el suelo. En cuanto a la energía eólica, los principales efectos negativos son sufridos por aves, pero también se produce un alto impacto visual y modificación del terreno. Las energías hidráulica y mareomotriz afectan significativamente a la fauna y flora de las aguas e incluso a la calidad de ésta, mientras que la geotérmica puede acarrear emisiones de gases peligrosos si se cometen errores en la captación [77]. Además, se requieren elevadas inversiones de capital para la fabricación y montaje de las infraestructuras requeridas.

Para lograr la descarbonización del sector energético en el año 2050 y alcanzar las llamadas emisiones cero sería necesario doblar el crecimiento anual actual de las energías renovables [73]. Este motivo, junto con los anteriores, manifiesta la necesidad desarrollarse nuevas formas de energías renovables, mejorar las existentes y estudiar en profundidad el impacto negativo de éstas para poder alcanzar el escenario deseado en 2050.

A continuación se analizarán otras fuentes y formas de energía diferentes a las mencionadas que están en crecimiento y estudio, que presentan un elevado potencial para el crecimiento del sector de las energías renovables.

4.1 HIDRÓGENO

Aunque no se trata de un elemento que haya sido descubierto recientemente y su uso en combustión se remonta a hace 200 años, sí se puede hablar de él como una novedad en el ámbito de las energías limpias debido a su resurgimiento. Es el momento de desarrollar nuevas tecnologías y poder contribuir al abaratamiento de los costes de obtención para permitir el crecimiento del uso de hidrógeno [78].

El hidrógeno es el elemento de la tabla periódica más abundante en la Tierra, pero es muy complicado encontrarlo aislado [79].

Su combustión no libera gases de efecto invernadero, sino simplemente vapor de agua. De ahí que se considere una alternativa energética verdaderamente respetuosa con el medio ambiente. Pero la problemática derivada del uso de este elemento como fuente de energía nace de la obtención del hidrógeno. En función de la procedencia de éste, se puede clasificar de tres formas en función de lo limpia que es su adquisición: hidrógeno gris o negro, azul y verde [79].

El hidrógeno gris tiene su origen en combustibles fósiles como el fuel, el carbón o, especialmente, el gas natural, al ser el principal componente de éste el metano (CH_4). Para obtener el hidrógeno aislado (H_2), se hace reaccionar el gas natural con agua a altas temperaturas, liberando dióxido de carbono en el proceso [80]. Esta producción de hidrógeno dista mucho de ser una solución a la problemática actual, ya que no sólo sigue requiriendo combustibles no renovables (gas natural en su mayoría, o carbón en su defecto), sino que contribuye a la liberación de gases de efecto invernadero. Sin embargo, desgraciadamente, un 99% de este elemento es obtenido de esta manera [81].

Otra opción más respetuosa es el hidrógeno azul. Su procedencia es, nuevamente, de combustibles fósiles. Igual que en el caso del gris, suele obtenerse a partir del gas natural. La diferencia radica en que el carbono liberado en el reformado de metano ($\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2 + \text{CO}$) se recolecta mediante 'la captura y almacenamiento de carbono' [81]. La CCS (carbon capture storage) permite la retirada del dióxido de carbono de la atmósfera o evita que llegue a ella, almacenándolo bajo tierra a grandes profundidades, en aguas recónditas o en forma sólida como minerales carbonatados. Esta técnica podría reducir las emisiones de CO_2 en un 80% o 90% [83].

Por último, el hidrógeno verde es aquel cuya producción no depende de combustibles fósiles, sino que se obtiene a partir de la electrólisis del agua, que consiste en la descomposición de sus moléculas en oxígeno e hidrógeno haciendo pasar por ella una corriente continua. Para que se considere completamente verde, la energía utilizada en el proceso debe provenir de fuentes de energía renovable. La demanda de energía es inestable y, en el caso de energías renovables como la eólica y la solar cuya producción es constante, puede desperdiciarse energía que no se puede almacenar. Se trata de aprovechar esa energía sobrante para la obtención de hidrógeno, elemento que sí puede almacenarse [84].

Las ventajas del uso de este elemento residen en que se puede almacenar y transportar mediante gasoductos como si de gas natural se tratara, además de su posible e importante aplicación en la descarbonización del transporte más difícilmente electrificable, especialmente en el de largo recorrido [79].

4.1.1 IMPACTO ECONÓMICO

El principal inconveniente en la producción del hidrógeno verde, que es el ideal para lograr alcanzar los objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero establecidos, es el alto coste de obtención mediante la electrolisis del agua. Esto hace que únicamente el 5% de la producción de hidrógeno sea a través de este método [82].

En comparación con los costes de adquirir hidrógeno mediante gas natural, estos últimos son más reducidos, por lo que es más atractivo obtenerlo de este modo. El desarrollo e inversión en el método de reformado de metano con una posterior captura del carbono puede convertirse en una importante estrategia de transición, de cualquier modo más respetuosa con el medio ambiente que el uso directo de gas natural o petróleo [82].

El precio del hidrógeno gris se establece en unos 1.5 euros el kilogramo, en función del precio del gas natural, mientras que al del azul deben sumarse los gastos correspondientes al proceso de captura y almacenamiento de carbono, situando su precio entre 2 o 3 euros el kilo. En el caso del hidrógeno verde esta cifra asciende a un rango de precios desde 3.5 a 6 euros por cada kilogramo. Una estrategia política para incentivar la producción del hidrógeno verde y azul es la penalización del carbono [85].

La Agencia Internacional de la Energía prevé una reducción de un 30% del precio del hidrógeno verde en 2030 [84], debido al auge de las renovables y el desarrollo de producción de hidrógeno que producirá un descenso en el precio de los electrolizadores. Además, se calcula que el crecimiento de esta industria podría crear unos 967000 puestos de trabajo solo en Europa y producir unos beneficios económicos anuales de 820000 millones de euros [84].

4.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

A pesar de tratarse de un puente hacia el uso del hidrógeno verde, el azul no es tan ideal como puede aparentar. La mitigación de emisiones de dióxido de carbono mediante el método CCS no tiene una eficacia del 100%, de forma que un 10% o 20% del CO₂ derivado del reformado de metano sigue aportándose a la atmósfera [83]. Además sigue necesitando la compra de combustibles fósiles, no renovables y cuya existencia tiene los años contados. De cualquier modo, el hidrógeno azul siempre será una solución más sostenible que el gris.

Donde se debe hacer mayor hincapié es en el desarrollo del hidrógeno verde, elemento que lograría llevar a cabo una reducción de 560 millones de toneladas de dióxido de carbono al año. Tratar de encontrar alternativas a la producción de hidrógeno mediante electrolisis, que no

requieran electricidad, es una de las metas que persigue Repsol. Esta empresa busca producir hidrógeno renovable a partir de la energía solar y agua o bien sustituir los combustibles fósiles por otros de origen más sostenible, como el biometano [86]. El sector en el que resulta especialmente interesante es en el transporte (podría suponer la reducción de un 30% de las emisiones de CO₂), ya que está suficientemente avanzado como para crear un mayor número de estaciones de repostaje y para el lanzamiento de nuevos modelos de transporte individual, además de los existentes como el Hyundai Nexu o el Toyota Mirai [84].

Se estima que dentro de unos 30 años, el 20% de la flota mundial de vehículos sean de pila de combustible de hidrógeno, lo que se traduce en unos 400 millones. De ellos, entre 15 y 20 millones se tratarían de camiones y 5 millones de autobuses [84].

Apoyar desde los gobiernos con inversiones económicas para el desarrollo de la industria del hidrógeno podría suponer avances importantes junto con el resto de energías renovables para alcanzar el objetivo de las llamadas emisiones nulas, ya que se demuestra el potencial de este elemento en industrias como la metalúrgica o la química (multitud de fertilizantes requieren hidrógeno) [85].

4.2 BIOMASA LIGNOCELULÓSICA

Otra de las alternativas que se han alzado en sustitución al uso de los combustibles fósiles es el empleo de los biocombustibles. Se trata de una fuente de energía cuya procedencia se adjudica a diferentes materias primas renovables [87]. En función de su origen, los biocombustibles se pueden clasificar en biocombustibles de primera, segunda, tercera o cuarta generación.

Los de primera generación proceden, generalmente, de plantas del sector agrícola como el girasol, maíz o caña de azúcar. Suelen ser aceites o azúcares obtenidas de estos vegetales, o grasas animales. En general, se podría decir que provienen de productos alimentarios [88]. La desventaja principal con la que se relacionan estos biocombustibles es el desvío de recursos para el cultivo de plantas con fines energéticos y no alimenticios [87]. Así, se cultiva mayor cantidad de estas, invirtiendo más medios: mayor trabajo agrícola, más cantidad de agua, más pesticidas, mayor extensión de terreno labrado, etc. Todo esto se traduce en un incremento de la contaminación de la atmósfera, agua y tierras que ya trae asociada la agricultura. Por tanto, no se trataría de una solución 100% libre de carbono.

Los biocombustibles de segunda generación se diferencian de los anteriores en su procedencia más sostenible: vegetales cuya función no sea la alimentación.

Estos desechos forestales y agrícolas son residuos ricos en celulosa, biopolímero de gran importancia que se analizará a continuación [88]. Las partes no aprovechadas en alimentación de las plantas tienen un elevado contenido en azúcares en comparación con las que sí son consideradas comestibles [89]. Así, se permite una obtención de energía de aprovechamiento y que no interfiere en el mercado alimenticio.

En el caso de los biocombustibles de tercera generación, su cuna son los organismos que producen su propio alimento, como las algas (de las que trataremos en el cap. 4.3 *Microalgas*), mientras que los de cuarta generación incorporan la modificación genética de algunos organismos para conseguir mejores propiedades, una mejor eficiencia energética y un proceso de producción más respetuoso [90].

La celulosa es uno de los tres compuestos poliméricos que dotan de rigidez a las plantas. Junto con los otros dos, la hemicelulosa y la lignina, reciben el nombre de biomasa lignocelulósica [89], la materia prima más utilizada en la obtención de biocombustibles de segunda generación [88]. El problema principal de este material es la dificultad que acarrea la separación de sus componentes, cuyo valor individual resulta interesante en la producción de energía [89].

El principal producto obtenido a partir de la biomasa de tipo lignocelulósico mediante diferentes procesos es el bioetanol, un combustible líquido con buenos resultados en el sector del transporte o en la generación eléctrica y calorífica. En 2015, la producción mundial de este biocombustible se situó en 98.3 millones de metros cúbicos, lo que significa un 74% del total de todos los combustibles de origen biológico [91]. También permite la obtención de otros biocombustibles líquidos, como bioaceite de elevado valor energético, aunque tienen el inconveniente de no ser miscibles con otros combustibles mientras que el bioetanol sí lo es [92].

El proceso de producción de bioetanol a partir de esta biomasa puede dividirse en varios subprocesos: un pretratamiento (son muy abundantes las posibilidades) del material lignocelulósico en el que se produce la separación de los componentes mencionados con anterioridad, seguido de una hidrólisis que convierta los polímeros de glucosa (contenida en la celulosa y la hemicelulosa) en azúcares fermentables, finalizando con la fermentación de los azúcares y su transformación en etanol [93].

4.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

A diferencia de los biocombustibles de primera generación, que pueden provocar el ascenso de los precios de las tierras y alimentos al emplearse como materia prima en la producción de combustible, el biocombustible de origen lignocelulósico emplea residuos agrícolas y

forestales, por lo que el aprovechamiento de ese material primario no tiene asociado ningún coste añadido a su cultivo [88].

Sin embargo, la tecnología necesaria para la separación de la celulosa, la hemicelulosa y la lignina es de gran complejidad y elevado coste, lo que mantiene las investigaciones centradas en tratamientos (enzimas o disolventes) de este material que reduzcan los gastos de obtención de los biocombustibles [89].

4.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Más de 40 millones de toneladas de restos agrícolas y forestales como rastrojos de maíz, caña de trigo, serrín, hojas y otros desechos de la tala de árboles, son desperdiciados anualmente [89]. Con la producción de biocombustibles a partir de estas sobras se contribuye al objetivo de lograr una economía circular, en la que residuos se convierten en materias primas.

Con los biocombustibles de segunda generación se evita el cultivo adicional de plantas, como sí ocurre en el caso de los de primera generación, y por tanto remite la deforestación que esta plantación acarrea. La recogida de residuos forestales, tales como hojas, astillas y otros restos procedentes de la tala de árboles, impacta de forma positiva en el terreno, permitiendo una más rápida repoblación de la superficie.

A pesar de que se estima que la energía proporcionada por el bioetanol es un 66% de la obtenida a partir del petróleo [93], se trata de una industria que puede ofrecer una alternativa junto con otras energías renovables a los combustibles fósiles por su baja huella en carbono. Los biocombustibles de etanol de origen lignocelulósico, aunque en ocasiones se consideran neutrales en carbono ya que el dióxido de carbono emitido en su combustión es compensado con el absorbido durante el crecimiento de la biomasa, reducen en un 88% las emisiones de CO₂ en comparación con la gasolina [94].

4.3 MICROALGAS

Otra de las opciones que aporta su granito de arena en la tarea de descarbonización energética fijada como objetivo para el año 2050 es la utilización de algas como carburante. Su naturaleza sitúa a las algas dentro de los biocombustibles de tercera generación [87].

Las algas son organismos de naturaleza acuática, que pueden habitar aguas dulces y saladas y son capaces de capturar la luz solar y dióxido de carbono para realizar la fotosíntesis [87].

Algunas microalgas, organismos unicelulares microscópicos [87], como las *Botryococcus braunii*, *Nannochloropsis sp.*, *Dunaliella primolecta*, *Chlorella sp.* y *Cryptothecodinium cohnii*, pueden llegar a proporcionar elevadas cantidades de lípidos y conseguir una eficiente producción de bioaceites [84]. La productividad de las algas para obtener biocombustibles es muy superior al rendimiento que se puede conseguir del tratamiento de plantas para la adquisición de biocombustibles de primera y segunda generación [87]. Estos resultados se reflejan en la tabla siguiente:

Sustrato	Litro/Año
Soja	400
Girasol	800
Canola	1,600
Jathropa	2,000
Aceite de palma	6,000
Microalgas	60,000-240,000

Figura 15. Rendimiento de diferentes biomásas en la producción de biocombustible líquido [Recuperado de MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide - Biocombustibles y producción de biohidrógeno]

Estas características, junto con otras que se analizarán a continuación, hacen de las algas una opción con un enorme potencial en el sector de la energía renovable. Otra de las propiedades de elevado interés de las algas es su capacidad de tolerar diversas condiciones medioambientales durante su crecimiento [96], pudiendo prosperar incluso en aguas residuales o en medios insalubres, además de hacerlo a una velocidad mayor que cualquier otra planta conocida. Además, no solo permiten crear un biocombustible libre de emisiones de carbono, sino que absorben CO₂ durante su crecimiento. Requieren una sola forma de energía (luz solar o azúcares), agua, dióxido de carbono y otros nutrientes para su desarrollo [97].

Dentro de la familia de las algas, se puede establecer una clasificación en función de su alimentación: condiciones fotoautótrofas (la luz es la fuente de energía y obtienen el carbono de compuestos inorgánicos como sales), fotoheterótrofas (a diferencia de las fotoautótrofas, obtienen el carbono de compuestos orgánicos), mixotróficas (pueden adquirir la energía mediante la fotosíntesis o de materia orgánica, mientras que el carbono lo obtienen de compuestos orgánicos o inorgánicos indistintamente) o heterótrofas (se alimentan de sustancias orgánicas sin necesidad de luz) [96, 97]. Esta versatilidad las confiere el interés científico en el sector energético, ya que no necesitan los nutrientes ni el terreno de las plantas de cultivo destinadas a fines alimenticios, así como tampoco compiten por las reservas de agua dulce [97].

El proceso de obtención de biocombustibles de tercera generación a partir de las microalgas (los estudios más recientes se centran en estos microorganismos

más que en las macroalgas) se compone de cuatro etapas: el sembrado, la recolección, la extracción de los lípidos y por último, la transesterificación [98].

El cultivo se puede producir en dos tipos de sistemas: abiertos o cerrados. En los primeros las algas tienen contacto con la atmósfera, tienen un coste menor pero menor producción debido a posibles contaminaciones, evaporación de agua, etc. Los sistemas cerrados permiten un mayor control sobre las microalgas y, por tanto, una mayor rentabilidad aunque son más caros [98].

Posteriormente, se produce la recolección, para lo que es necesario eliminar el agua (por centrifugación, sedimentación por gravedad o filtración, entre otros métodos), y la extracción de lípidos bien mediante extracción química (con ayuda de hexanol o etanol), mecánica (prensa, morteros...) o gracias a la utilización de enzimas [98].

Por último, tiene lugar la transesterificación, una reacción química en la que mediante moléculas de triglicéridos (procedentes de la biomasa algal) y un alcohol de cadena corta (normalmente metano) se obtiene biodiesel y glicerina (compuesto sin propiedades combustibles) [98].

4.3.1 IMPACTO ECONÓMICO

El problema principal de esta alternativa a los combustibles fósiles radica en los elevados costes de obtención de esta biomasa. Los procesos de secado, filtración, extracción de lípidos, etc. tienen un alto precio [97]. A pesar de sus ventajas económicas respecto a otros biocombustibles de origen vegetal al tener tan elevado rendimiento y eliminar los gastos de transporte al poder cultivarse en la misma fábrica de extracción, las inversiones que deben realizarse en infraestructuras y procesos suponen un impedimento a la fabricación de biocombustible algal a nivel industrial [98].

El coste de producir un kilo de biomasa de microalgas ronda entre 10 y 35 euros, mientras que un litro de gasolina tiene un precio de 1.5 euros [98].

La biotecnología puede jugar un papel muy importante en los próximos años en lo que concierne a esta materia prima, ya que mejorando sus características se puede obtener mayor rentabilidad de ellas [99].

4.3.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Igual que cualquier tipo de energía alternativa a las derivadas del carbono, los biocombustibles producidos a partir de microalgas tienen un impacto positivo en el medioambiente: utilizan el CO₂ para su desarrollo, no son necesarias amplias extensiones de tierra de cultivo y crecen de forma increíblemente rápida. Se estudia su posible uso como biocombustible en el transporte, ayudando a paliar el efecto invernadero provocado por el sector,

cuya contribución a la emisión de GEI es el 30% del total, aproximadamente [100].

Una de las áreas de especial interés a las que se puede destinar el cultivo de estas algas es en aguas residuales, donde pueden crecer y desarrollarse con éxito absorbiendo como nutrientes los fosfatos y nitratos del agua contaminada [99].

4.4 ENERGÍA CINÉTICA

La empresa inglesa Pavegem Systems ha creado unas baldosas capaces de producir energía a través de las pisadas de la gente. Se trata de una forma de energía renovable apta para implementarse dentro de las ciudades en las que no es posible introducir infraestructuras de otras opciones renovables como molinos de viento [101]. Las baldosas están formadas por una placa triangular de composite apoyada sobre unos generadores electromagnéticos que permiten generar de 2 a 4 julios en cada pisada gracias a la compresión éstos. Incluyen unos transmisores de datos, que almacenan información relevante y de utilidad para la empresa. Además, incorporan unas balizas bluetooth de bajo consumo que permiten mostrar estadísticas en los dispositivos cercanos de los usuarios, permitiéndoles ver su contribución a la generación de energía [102].



Figura 16. Funcionamiento de las baldosas Pavegem [Recuperado de Pavegem]

La electricidad generada por estas baldosas puede ser reconducida y utilizada directamente para iluminar estadios de fútbol, farolas, cargar móviles u otras funciones, pero también puede ser almacenada para un uso posterior [102].

Este invento puede ser de gran utilidad para generar energía en lugares de las ciudades muy concurridos como estaciones de tren, estaciones de metro,

centros comerciales... También ha sido implementado en colegios como el Simon Langton Grammar School, donde la electricidad generada se utiliza para iluminar los pasillos y concienciar a los alumnos de la importancia de las energías renovables [101].

Son numerosos los proyectos desarrollados por Pavegem en Reino Unido y en Europa, y siguen ampliando sus horizontes, habiendo llegando incluso a Hong Kong en una pista de atletismo. Desde su uso en festivales de música, en los que los asistentes pudieron cargar sus teléfonos móviles con la energía generada al bailar, su colocación en congresos, en maratones, hasta en el aeropuerto de Abu Dhabi o la Universidad de Birmingham son algunas de sus aplicaciones [102].

Esta idea de la start-up inglesa ha supuesto el origen de nuevas investigaciones aprovechando la energía cinética de personas y transportes, como las carreteras generadoras de energía. Estas aprovechan la velocidad y peso de los automóviles para obtener electricidad que puede iluminar aquellas zonas alejadas, las carreteras y autopistas incluidas, evitando grandes longitudes de tendidos eléctricos [103].

4.4.1 IMPACTO ECONÓMICO

Las últimas financiaciones obtenidas por la empresa pueden permitir un abaratamiento de los costes de producción de las baldosas, de forma que implantarlas no suponga una elevada inversión [104]. Su precio es similar actualmente al de las losas de alta gama, aunque los fabricantes aseguran que los precios siguen bajando [101], pero las empresas que deciden instalarlas obtienen una compensación económica al producirse un ahorro de electricidad utilizando la obtenida a partir de las baldosas. Además les permiten llevar a cabo un estudio de mercado, un conteo de las personas que pasan por algunos puntos y ayudarse de estos datos para invertir en más o menos publicidad [104].

4.4.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El uso e implementación de estas baldosas constituye una manera más de ayudar a frenar el cambio climático y a obtener energía de forma sostenible. Dado que la población mundial no deja de crecer y, en su mayoría, el crecimiento se da en las ciudades, se trata de una forma de rentabilizar los millones de pasos diarios que se alcanzan en estas áreas urbanas [105].

Estas baldosas están fabricadas con materiales reciclados y que son reciclables en un 80%. La parte superior es de caucho proveniente de neumáticos viejos, capaz de resistir más de 5 años de pisadas [106]. Por tanto, no solo contribuyen a la obtención de energía libre de carbono, sino que forman parte del desarrollo de una economía circular.

CAPÍTULO 5. INDUSTRIA ALIMENTARIA

El crecimiento exponencial de la población mundial conlleva un aumento de las necesidades alimenticias a nivel global. Desde el año 1960 hasta el año 2010 el número de habitantes en el planeta creció desde los 3 000 millones hasta más de 7 000 millones. En tan sólo 50 años la población mundial creció más de un 230 %, y se estima que a finales del siglo XXI se alcancen los 11 000 millones, como mínimo [1, 107].

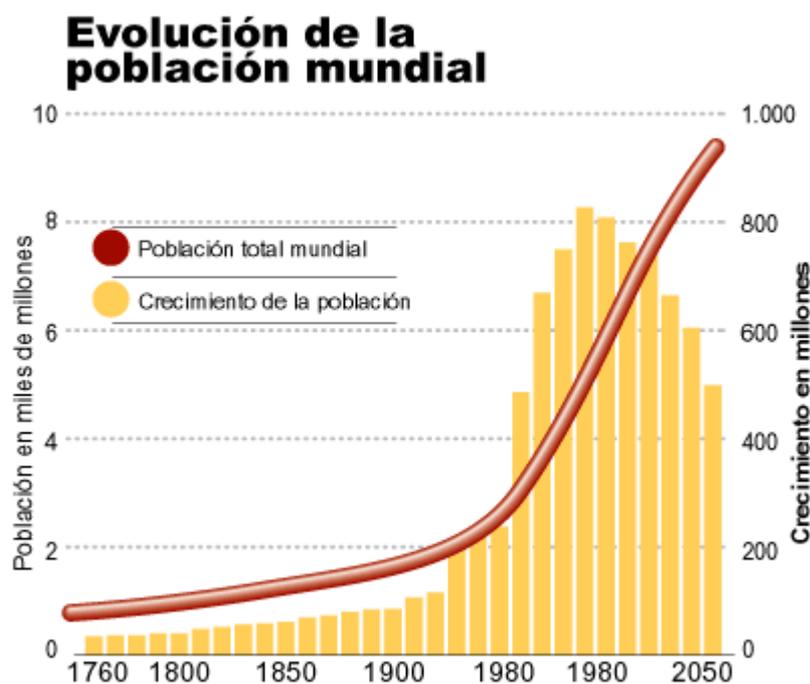


Figura 17. Evolución de la población mundial [Recuperado de Mundo Fleko - La ONU finalmente lo dice]

En 1960 se produce la llamada Revolución Verde, un importante desarrollo de la agricultura que permite el elevado crecimiento de la población, trayendo consigo una mayor productividad de los cultivos con la inclusión de pesticidas, fertilizantes nitrogenados y nueva maquinaria agrícola y sistemas de riego, pero también un impacto negativo sobre los ecosistemas [1]. Los costes de alimentación se vieron disminuidos al aumentar el rendimiento de las tierras, lo que permitió su alcance a un mayor número de personas y fomentó el nacimiento de más personas [108].

Los pesticidas y herbicidas utilizados para proteger los cultivos resultan tener efectos negativos tanto en el medioambiente como en diferentes organismos en multitud de ocasiones debido a su toxicidad. Algunos de estos son el benomilo (antifúngico), tóxico para peces y seres humanos, o el lindano (hexaclorociclohexano), prohibido en la UE por su potencial cancerígeno. Otros pueden provocar malformaciones o modificaciones genéticas en animales [108].

Un 40% de la superficie terrestre está destinada a fines agrícolas. Al crecer la población, el área dedicada a cultivos también lo hace y, por tanto, la destrucción de ecosistemas, deforestación y contaminación del suelo lo hace consigo. Además, empezaron a incrementarse las épocas de sequía debido a la necesidad de riego de todos estos cultivos, a la vez que lo hacía la polución en aguas [1].

Además de los cultivos de cereales, legumbres, hortalizas, frutas y verduras, en la alimentación entra en juego la ganadería, sector al que se destinan el 50% de todas las cosechas [109]. Un cuarto de las emisiones de gases de efecto invernadero corresponden al sector de la alimentación, teniendo el 58% de estas emisiones su origen en la producción de carne. Además, también es el culpable del 32% de la acidificación terrestre [110].

La Revolución Verde puso al alcance de un mayor número de personas la posibilidad de adquirir comida, pero también daños a la salud humana y medioambiental [108], lo que resalta la necesidad de una nueva revolución alimentaria libre de tóxicos, rentable y capaz de gestionar los víveres de una población en continuo crecimiento.

De momento, son muchos los esfuerzos realizados en la comunidad científica destinados al sector agroalimentario para conseguir una mayor durabilidad mientras los productos permanecen envasados, para favorecer la conservación de sus nutrientes, controlar la humedad que requieren o detectar bacterias o elementos patógenos [111], tratando de aumentar la eficiencia de los cultivos ya existentes, pero siendo más respetuosos en esta ocasión con el medioambiente que los productos que surgieron en la Revolución Verde.

La distribución de alimentos está directamente relacionada con la industria de embalaje de los mismos, la cual utiliza gran cantidad de plásticos contaminantes. Dentro de este sector también se buscan alternativas más sostenibles.

5.1 AGRICULTURA VERTICAL

Las granjas verticales permiten la plantación de alimentos en el ámbito urbano, aprovechando las zonas que no pueden ser cultivadas por falta de espacio [112].

Una de las empresas que dedica sus esfuerzos a esta nueva práctica es la estadounidense *Square Roots*, fundada en 2017 [112]. Lo que desarrolla esta empresa es una agricultura de interior, acondicionando unos contenedores para que las plantas puedan crecer bajo las mejores circunstancias. Las condiciones de cada cultivo son controladas y reguladas: temperatura, humedad, niveles de CO₂ y luz. Además, todos los datos son almacenados en una plataforma digital que comparten los trabajadores en diferentes ciudades para aprender de los resultados de los demás, pero también para analizar los datos y conocer el resultado de la

variación de algunos parámetros, mejorando la eficiencia y permitiendo disminuir la necesidad de recursos [113].

Cada contenedor puede simular un clima diferente, por lo que la diversidad de vegetales y frutas que se pueden sembrar es muy alta, representando una ventaja frente a los cultivos tradicionales que están condicionados de forma directa por las condiciones meteorológicas de su ubicación [113].



Figura 18. Contenedores modulares para el cultivo de interiores de Square Roots [Recuperado de Square Roots]

Otra de las características positivas de esta tecnología es la inexistencia de pesticidas y su reducción del uso del agua respecto a la agricultura clásica al emplear como riego un agua rica en nutrientes (*Square Roots* afirma una minoración de un 90%) [113]. Tampoco olvidar la ventaja temporal que supone el cultivo de interior, ya que las plantas pueden crecer de forma más rápida, con mucho menor riesgo de contaminación de la cosecha al establecerse un ambiente sellado [114].

En la última década son muchas las empresas que se han lanzado a este mercado, como en el caso de *Neofarms*, una startup en Alemania e Italia, que ha prototipado una granja vertical del tamaño de una nevera para uso doméstico [114]. Aunque no ha sido la única: en 2020 *IKEA* también ha incluido una en su catálogo con la capacidad productiva de 40 a 50 kilos mensuales de verduras y especias [115].

El concepto de agricultura vertical está directamente relacionado con el de agricultura hidropónica, aquella que no requiere tierra para el crecimiento de los productos. Así necesita un menor espacio de plantación, menor cantidad de agua

para su riego y se evita el uso de pesticidas. Su auge está provocando multitud de investigaciones, incluso queriendo llegar a implantarse en el espacio [116].

Los cultivos hidropónicos obtienen los nutrientes de soluciones acuosas específicamente diseñadas para cada tipo de vegetal, ajustadas a las necesidades de cada uno de ellos, y la luz proviene de bombillas LED, siendo posible ajustar el espectro y cantidad diaria para el crecimiento óptimo de las plantas [115].

Su flexibilidad le confiere un gran potencial a este tipo de agricultura, que puede ser implantada desde en nuestras casas, restaurantes, colegios hasta edificios abandonados o contenedores de barcos. No requiere grandes extensiones de tierra y su plantación en vertical puede permitir grandes cantidades de cultivos en poco espacio horizontal.

5.1.1 IMPACTO ECONÓMICO

Es innegable el elevado potencial de esta tecnología en el marco de una sociedad que no deja de crecer (a la vez que lo hacen sus necesidades) y en un planeta en el que las extensiones de tierra disponibles son cada vez menores, donde el uso de las disponibles tiene un fuerte impacto medioambiental.

La start-up china *Alesca* dedicada a este negocio asegura que el rendimiento de sus minigranjas implantadas en contenedores de barcos es superior a cualquier otro de la agricultura tradicional. Además, su fundador afirma que únicamente son necesarias dos horas de trabajo semanales, ya que el proceso está altamente automatizado, lo que resulta un ahorro económico para la empresa en cuanto a la mano de obra [116].

Estas granjas verticales permiten el desarrollo de la agricultura local. Al ser posible el cultivo de muy diversas especies y la reproducción de diferentes climas, la necesidad de importación de productos de otros países se ve reducida o eliminada, así como los gastos de transporte asociados a su compra [116].

El crecimiento se produce todos los días del año, a mayor velocidad por disponer de las mejores condiciones para ello, lo que se traduce en un rendimiento de casi el 100% [114]. La productividad aumenta y por tanto también lo hacen los beneficios.

Pero también se debe tener en cuenta la luz artificial necesaria para el desarrollo los cultivos, que tiene un impacto negativo tanto en el ámbito económico como medioambiental. Se trata del factor que mayor coste supone a la agricultura vertical [112]. Las granjas requieren un suministro constante de electricidad, para la toma de datos, acondicionamiento de temperatura, riego y aporte de luz. Sin embargo la agricultura tradicional no requiere ese suministro constante al disponer de la luz solar [114].

A pesar de esto, el valor del mercado agrícola de estas características ascenderá desde 403 millones de dólares en 2013 hasta unos 6 400 en 2023, lo que supone multiplicar su valor por 15 en apenas 10 años [112].

5.1.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

La mayor preocupación ambiental que genera esta agricultura es el origen de toda la energía necesaria para alimentar las luces y el resto de sistemas requeridos en el crecimiento de las plantas [115]. Por este motivo se está tratando de incorporar la tecnología fotovoltaica a las infraestructuras de las granjas verticales, como es el caso del prototipo de *Skyfarm*: la empresa estadounidense piensa aprovechar la luz solar como fuente principal de energía y las luces LED como apoyo en caso necesario [116].

Las emisiones de CO₂ procedentes del transporte de los productos agrícolas se verían reducidas o eliminadas al poder obtener variedad de cosechas que, de otro modo, serían cultivadas en diferentes países en función del clima necesario [116].

En cuanto a otras ventajas derivadas de su uso, encontramos la eliminación del uso de pesticidas, antifúngicos, herbicidas y otros productos químicos que pueden resultar tóxicos para el ser humano [115]. También se evita las deforestaciones masivas para adquirir mayor terreno cultivable, ya que se pueden aprovechar edificios, fábricas u otro tipo de instalaciones abandonadas al no ser necesario el uso de tierra. Al plantarse de forma vertical se reducen las extensiones utilizadas, resultando una utilización óptima del espacio disponible [116].

La mayor virtud es el ahorro de agua y su contaminación con sustancias tóxicas, pudiendo reducirse el gasto en un 90% respecto a las plantaciones convencionales [113].

5.2 FORRAJE RICO EN TANINOS

La elevada demanda de proteína de carne animal en la alimentación de gran parte de la sociedad, hace de la ganadería una de las actividades con mayor presencia [117]. El gran consumo cárnico produce un aumento de las tareas de ganadería intensiva, consiguiendo una mayor producción pero con el inconveniente de producir una mayor contaminación también.

La ganadería es la culpable de un 15%, aproximadamente, de las emisiones globales de GEI, como ya se mencionó en *5.INDUSTRIA ALIMENTARIA*. Este porcentaje se debe especialmente a la digestión que realizan los rumiantes, aunque han de tenerse en cuenta también las emisiones en el cultivo y en la producción de pienso, sin olvidar el impacto negativo asociado a la contaminación

de aguas, acidificación de la tierra o la deforestación (el 87% de los terrenos empleados con fines alimenticios se destina a la ganadería). Los rumiantes son capaces de digerir el pasto o el forraje y obtienen los hidratos de carbono a través de una digestión fermentativa y no mediante enzimas [117]. Lejos de ser una ventaja, la asimilación de alimentos de estos animales es de baja eficiencia energética y negativa para el medioambiente debido a la expulsión metano (CH₄), un gas de efecto invernadero más agresivo que el dióxido de carbono (desde 21 a 30 veces más contaminante) [118].

Los microorganismos anaeróbicos presentes en el aparato digestivo de los rumiantes (cada animal puede tener entre 3 y 8 kilos de bacterias) se encargan de obtener la glucosa a partir del pasto ingerido. Posteriormente, la glucosa es fermentada a ácido acético, liberando metano, lo que significa una pérdida energética al no emplearse ésta en la alimentación. La cantidad de CH₄ liberada anualmente por un rumiante adulto puede alcanzar hasta los 126 kilos, además de la presente en las heces de estos animales [118, 119].

Otro de los gases derivados de la ganadería, especialmente emitido en la gestión de los desechos (orina y estiércol), y que no debe olvidarse, es el óxido nitroso (N₂O) [120]. Se trata de otro de los GEI, cuya acción sobre la atmósfera es 300 veces más negativa que la del CO₂. El origen de más del 85% de las emisiones totales mundiales de este gas se asocia con la ganadería [121].

Dentro de este sector, más de la mitad de los gases de efecto invernadero (62%) se atribuyen al ganado vacuno [122]. La contribución en millones de toneladas de CO₂ de los principales animales destinados a productos cárnicos se puede apreciar a continuación:



Figura 19. Contribución en millones de toneladas de CO₂ – eq de las principales especies de animales del sector ganadero [Recuperado de FAO - Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)]

Ante estos resultados, surge la idea de una ganadería más sostenible. Una de las investigaciones se desarrolla en torno a la variación de la dieta de los rumiantes para mitigar las expulsiones de metano, aunque también se estudian

alternativas de la ganadería intensiva como el silvopastoreo, que trata de incorporar árboles, arbustos y otras plantas en las fincas ganaderas, fomentando la ganadería extensiva y ayudando a combatir la emisión de gases de efecto invernadero y otros impactos negativos, además de alimentar al ganado [123].

El uso de taninos en la alimentación de los rumiantes puede suponer una reducción de metano y nitrógeno. Se tratan de unos compuestos fenólicos presentes en algunas plantas, capaces de precipitar algunos de sus componentes como los carbohidratos o las proteínas, pudiendo formar compuestos estables con estas. Los taninos pueden clasificarse en hidrolizables o condensables, siendo los más estudiados los efectos de los últimos, que se pueden encontrar de forma natural en algunas leguminosas [117].

En función de la concentración de taninos, el tipo de éstos y el animal alimentado, los resultados son diferentes, de forma que la alimentación con forraje rico en taninos puede resultar tanto positiva como negativa para la nutrición del rumiante como para el medio ambiente [117].

Estos compuestos químicos tienen un poder antibacteriano, lo que se reporta en una menor emisión de metano. Además, en bajas concentraciones pueden contribuir a una mejor digestión de las proteínas al unirse a ellas y evitar su temprana degradación en el proceso digestivo [124]. Estudios han revelado que mientras la concentración de taninos sea de entre un 2% y un 4% los resultados que se obtienen son beneficiosos tanto para la nutrición de los animales como para el medioambiente, mientras que si la concentración supera el 6%, las consecuencias para los rumiantes son negativas al reducirse excesivamente la digestibilidad del forraje [124, 125].

Algunas de las leguminosas con las que se realizaron los experimentos y produjeron buenos resultados fueron: *Lotus corniculatus*, *Flemingia macrophylla* o *Calliandra calothyrsus* [125].



Figura 20. *Lotus corniculatus*, *Flemingia macrophylla* y *Calliandra calothyrsus*
[Recuperado de Google Imágenes]

5.2.1 IMPACTO ECONÓMICO

Los resultados que han demostrado que la alimentación con forrajes o plantas ricas en taninos provocan un aumento de peso del animal, suponen una mayor producción y por tanto, una mayor rentabilidad económica [124].

Sin embargo, no hay resultados suficientes para saber si ese aumento de peso y, en consecuencia, de carne vendida, compensa la inversión que se ha de realizar para incluir en la dieta los taninos.

Lo que es seguro es que contribuirá a mantener las emisiones de GEI dentro de los límites legales.

5.2.2 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Los datos obtenidos de varios estudios sitúan la reducción del metano emitido en un 16-25% en el caso de bovinos y ovinos introduciendo en la alimentación la leguminosa *Lotus corniculatus*. En el caso de las otras dos especies mencionadas anteriormente, *Flemingia macrophylla* y *Calliandra calothyrsus*, el porcentaje de CH₄ disminuyó hasta en un 20-30% [125]. También se emplean taninos procedentes de acacia, castaños u otros sintéticos, como la bioquina [124].

Se concluyó que la producción animal ni su salud se verían afectados por la inclusión de forraje rico en taninos. De hecho, fueron apreciadas mejorías productivas como el aumento de peso de los animales, un descenso en la concentración de amoníaco en el líquido rumial, o una mayor rapidez de reconstitución del epitelio intestinal dañado por los parásitos [124].

Aunque posiblemente la reducción de metano ocasionada por la adición de estos compuestos fenólicos a la dieta de los rumiantes no sea suficiente para mitigar los efectos del cambio climático, es un resultado esperanzador que, combinado con otras medidas (reducción global del consumo de carne por concienciación de la población, silvopastoreo, otras dietas...) puedan provocar un impacto medioambiental positivo.

5.3 PLÁSTICOS DERIVADOS DE BIOPOLÍMEROS

La industria de la alimentación es inconcebible sin los envases que contienen a los alimentos, necesarios para su distribución y transporte a todos los rincones del planeta, además de su conservación. Preocupa especialmente el uso de plástico no reciclable, tanto en bolsas, paquetes individuales, films, cubiertos, pajitas, botellas... fabricados con plásticos derivados del petróleo. La mayor parte

de estos plásticos se emplean en envases de un solo uso, lo que provoca pérdidas económicas y genera elevadísimas cantidades de residuos.

Entre los plásticos procedentes del petróleo empleados en envasado de alimentos, los más frecuentes son el poliestireno (PS), el polietileno tereftalato (PET) o el polipropileno (PP). Todos ellos presentan unas buenas propiedades para conservar los productos: resistencia, mantenimiento de temperatura o protección frente a contaminantes externos, a un relativamente bajo coste de producción [126]. Pero también ha de tenerse en cuenta el fuerte impacto medioambiental que acarrearán, siendo uno de los residuos más abundantes en los vertederos.

El uso de envases plásticos trata de contribuir a frenar el desperdicio de alimentos, ya que permite una mejor conservación y, por tanto, más duradera de estos. Pero la realidad es que la cantidad de plásticos desechados incrementa a la vez que lo hace la de alimentos desaprovechados. Un 42% de los plásticos fabricados mundialmente (unas 300 millones de toneladas) se destinan a envasado, de los que se reciclan menos del 30% [127].

Uno de los principales problemas asociados al plástico utilizado para la alimentación es su acumulación en mares y océanos (aproximadamente 10 millones de toneladas anuales), y las consecuencias negativas para la biodiversidad marina, que no son capaces de distinguirlos de la comida, pudiendo causar su muerte o la ingesta del plástico también por parte de los seres humanos [128].

. Una botella de plástico puede tardar hasta 450 años en biodegradarse. Teniendo en cuenta que en 2016 se produjeron más de 480 000 millones de unidades y menos del 50% se reciclaron, se puede deducir un crecimiento de residuos insostenible. Debido a su longevidad, se buscan alternativas a los plásticos que sean reciclables o mejor, biodegradables; es decir, opciones más sostenibles [128], además de tratar de suprimir la dependencia del petróleo, ya que se trata de un recurso con un futuro incierto [129].

En este contexto surge el desarrollo de biopolímeros en la fabricación de plásticos, algunos de ellos creados a partir de recursos renovables, otros que sean biodegradables al final de su vida útil y varios que combinan ambas características [129]. Los biopolímeros son macromoléculas de origen biológico o químico. Los utilizados en la industria del plástico pueden clasificarse en función de su procedencia, principalmente, en los de origen animal o vegetal (como el almidón, la celulosa o el gluten), de origen químico (ácido poliláctico) y en los derivados de microorganismos [130].

Dentro del primer grupo de biopolímeros, los de almidón son los más estudiados, siendo un 75% destinados a la fabricación de plásticos para envasado y embalaje [129]. El almidón se obtiene de plantas como la patata, el maíz o el arroz [130]. Normalmente se combina con otros polímeros para dotar a los plásticos de una mayor biodegradabilidad. A pesar de tratarse de un material con

muchas posibilidades, tiene una baja resistencia a la humedad, por lo que se realizan investigaciones para mejorar sus propiedades modificando su estructura [129].

Otro de los biopolímeros más extendidos en la industria alimentaria es el ácido poliláctico (PLA) debido a sus excepcionales propiedades, muy similares a la del plástico PET, pero con la virtud de ser biodegradable [131]. Se trata de un polímero sintético termoplástico obtenido mediante la fermentación de azúcares simples, que presenta una elevada resistencia mecánica, buen aislamiento térmico y eléctrico y facilidad de moldeo [132]. El ácido poliláctico puede descomponerse fácilmente mediante hidrólisis (adicionando únicamente agua) para obtenerse nuevamente ácido láctico (su compuesto químico de partida), lo que supone una ventaja a la hora del reciclado de los plásticos obtenidos a partir de este biopolímero [130]. Entre sus aplicaciones está el envasado de alimentos secos, pero se utiliza también para botellas y envases de aceites. Igual que otros biopolímeros, pueden mejorarse sus aplicaciones combinándolo con otros o modificando su estructura [129].

Los polímeros producidos por microorganismos, como los polihidroxialcanoatos (PHA), son sintetizados por estos mediante fermentación del carbono, lo que los diferencia de los PLA, en cuya obtención tienen lugar dos procesos: una fermentación de almidón que da lugar al monómero (ácido láctico) y posteriormente una polimerización química de éste, obteniéndose el ácido poliláctico. Los PHA son degradables de forma natural en CO₂ y agua mediante procesos aeróbicos o bien en metano por procesos anaeróbicos, lo que los convierte en un sustituto atractivo de los plásticos de origen petroquímico en la fabricación de bolsas, envases o películas plásticas dentro del embalaje alimentario, pero también en recipientes de productos de higiene como geles o champús [129]. La modificación genética de las bacterias productoras de los biopolímeros PHA o el medio de cultivo en el que se obtienen, permite la variación de las propiedades del plástico producido finalmente, dotándolo de diferentes elasticidades, diversas resistencias o mayores velocidades de degradación [130].

Dentro de la familia de los PHA, el polihidroxibutirato (PHB) es el de características similares al plástico polipropileno (PP), derivado del petróleo [130].

Se puede concluir, por tanto, que la producción de plástico a partir de biopolímeros proporciona resultados y productos de buena calidad, muy similares a los que se pueden obtener de derivados del petróleo, incluso de una forma menos contaminante y con una gestión mejor de los residuos que se generan una vez finalizado su uso.

5.3.2 IMPACTO ECONÓMICO

Económicamente, el uso de restos de otros procesos o desechos de productos agrícolas como materia prima (como puede ser el caso de los

biopolímeros obtenidos a partir de almidón), supone una ventaja al tratarse de insumo de bajo coste en comparación con el de los plásticos derivados del petróleo. Sin embargo, en el caso de los PHA, los gastos derivados de la producción siguen siendo muy elevados como para poder ser un producto competente, por lo que se trabaja para obtener una mejora en la productividad y rentabilidad [129].

5.3.3 IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

Se calcula que al ritmo de crecimiento de fabricación de plásticos y su almacenaje en vertederos, en 2050 la basura plástica acumulada en la naturaleza será de 12 000 millones de toneladas [128]. El uso de biopolímeros en plásticos que los permitan ser biodegradables es una alternativa muy estudiada y esperanzadora debido al tiempo de degradación de los plásticos derivados de petróleo:

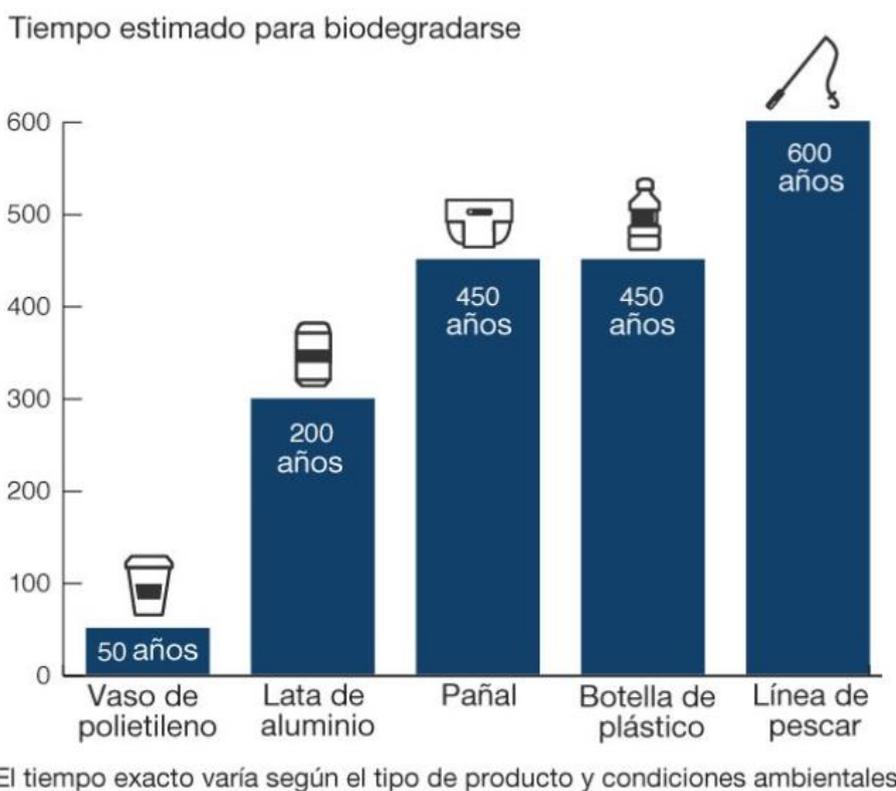


Figura 21. Tiempo estimado de degradación de algunos plásticos comunes [Recuperado de BBC News Mundo - 5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta]

El tiempo de biodegradabilidad de los plásticos fabricados a partir de biopolímeros dependerá de las condiciones ambientales, como la temperatura o la presencia de oxígeno y de la cantidad de microorganismos existentes que puedan descomponer las moléculas en dióxido de carbono, agua y hummus. De cualquier forma, siempre será una mejor alternativa a los plásticos convencionales (y derivados del petróleo) como policloruro de

vinilo (PVC), poliuretano (PU), o los ya mencionados PET, PP o PS, cuyas uniones químicas no pueden romper las enzimas emitidas por los microorganismos [130].

Otra ventaja medioambiental es el uso de fuentes de energía renovables en la fabricación de los biopolímeros en lugar del petróleo, un bien cada vez más escaso [130].

La fabricación de plásticos a partir de biopolímeros tiene un alto potencial y la posibilidad de cambiar el embalaje plástico de la industria alimentaria hacia una opción más sostenible. Otra forma de ayudar al planeta en este sector es a través de la reducción de envasado por parte de las empresas, evitando aquel innecesario para la conservación de los alimentos. Reducir es la mejor forma de evitar la generación de residuos y supone un abaratamiento económico y un ahorro productivo. Uniendo ambas (la reducción de embalaje y el uso de material biodegradable en él) se contribuiría a frenar la contaminación del sector.

CAPÍTULO 6. INDUSTRIA BIOMÉDICA

La salud siempre ha sido una de las principales preocupaciones del ser humano a la que se han destinado multitud de recursos. Los conocimientos adquiridos en las recientes décadas en diferentes disciplinas como la biología molecular, la biotecnología, la ingeniería o la ciencia de los materiales han permitido el crecimiento y mejora de la medicina.

Desde el análisis profundo a nivel celular de diferentes enfermedades o afecciones gracias a la biología molecular, el tratamiento específico debido a la biotecnología, la detección precoz y seguimiento de resultados que permite la ingeniería y los dispositivos electrónicos, la disminución de riesgos en operaciones delicadas gracias a la cirugía robótica hasta el uso de nuevos materiales con inimaginables propiedades que han sido utilizados en prótesis y tratamientos de diferente naturaleza, son sólo algunas de las innumerables aplicaciones de las tecnologías desarrolladas recientemente en el ámbito de la salud.

Sin lugar a dudas, un gran número de los avances que han tenido lugar en medicina es gracias a la aparición de nuevos materiales [133], en especial los biomateriales. Estos son aquellos biocompatibles, destinados a ubicarse en algún ser vivo y restaurar o reemplazar alguna función biológica del mismo. Dado que van a estar en continuo contacto con tejidos deben ser materiales no tóxicos y farmacológicamente estables, y actualmente se pueden encontrar biomateriales tanto naturales como sintéticos [134]. Dentro de estos, los utilizados

principalmente en aplicaciones biomédicas son los nanocompuestos, polímeros y materiales metálicos [135].

La nanoingeniería, junto con la biotecnología, tienen un papel fundamental en el estudio y desarrollo de biomateriales, al permitir un análisis a nivel molecular de ciertas sustancias y encontrar la clave de algunas propiedades que posteriormente pueden ser plasmadas en nuevos materiales [135].

La ciencia de los biomateriales comenzó tratando de proporcionar biocompatibilidad a algunos materiales existentes como los metálicos o cerámicos debido a sus buenas propiedades de resistencia o durabilidad, pudiendo así ser útiles en implantes, marcapasos u otros. Actualmente se busca dotarlos, además, de otras propiedades 'inteligentes' que les permitan realizar determinadas funciones una vez sean introducidos en los organismos: medicamentos destinados específicamente a un órgano concreto, materiales capaces de degradarse una vez cumplido su cometido, con la capacidad de responder a estímulos, etc. [136].

La eficacia de los materiales en biomedicina recae mayoritariamente en encontrar las propiedades adecuadas para su objetivo. Los materiales de naturaleza metálica son apropiados cuando se busca un elemento que posea dureza y tenacidad pero también elasticidad, además de conductividad eléctrica, de forma que resultan útiles en aplicaciones como implantes ortopédicos, biosensores o marcapasos. Los materiales poliméricos son comúnmente utilizados en biomedicina en fabricación de lentes, en ortodoncia o incluso en la producción de órganos artificiales. Se trata de un material que se encuentra de forma natural incluso en el cuerpo humano, pero también es frecuentemente sintetizado en búsqueda de una mejora de sus prestaciones. Los nanocompuestos forman el tercer grupo de materiales más empleados en biomedicina [135]. Se trata de un material compuesto o multifásico en el que al menos una de las fases tiene dimensiones nanométricas. Está formado por una matriz en la que se introducen nanopartículas que proveen al material de unas propiedades físicas y químicas especiales, enriqueciendo el material de partida. Generalmente se clasifican en función del tipo de matriz del nanocompuesto: nanocompuestos metálicos, poliméricos, cerámicos... Sus aplicaciones en biomedicina son numerosas (vehiculización de medicamentos, biosensorización, regeneración de tejidos...) y se trata de un material sobre el que se sigue trabajando y que muestra un futuro prometedor en este campo [135, 137].

Tal vez la investigación y desarrollo de nuevos materiales en biomedicina no tenga un alto impacto medioambiental ni suponga una elevada contribución a frenar el cambio climático, pero ha demostrado ser muy importante para proporcionar nuevas perspectivas respecto a enfermedades y tratamientos, aportando esperanza y soluciones sorprendentes, por lo que es meritorio realizar un breve análisis de algunos de estos impactantes descubrimientos en la industria biomédica.

6.1 ESPUMA DE TITANIO

El descubrimiento de la espuma de titanio se atribuye a los investigadores del Fraunhofer Research Group (Alemania) en el año 2010 [138].

El titanio es un metal habitualmente utilizado en prótesis y en implantes dentales desde los inicios de estas técnicas. La alta biocompatibilidad que presenta, junto con sus buenas propiedades como la dureza y la ligereza, lo convierten en un material adecuado para prótesis de cadera, hombro, rodilla hasta incluso para implantes endoóseos [139]. Pero presenta un inconveniente en su producción: el titanio reacciona con el oxígeno, el nitrógeno y el carbono a temperaturas elevadas, lo que puede limitar las opciones de obtención [138].

Otra de las desventajas del empleo de este material en prótesis es la necesidad de reemplazarlo tras el paso de los años. El titanio es capaz de soportar cargas más altas que el hueso humano, por lo que, inevitablemente, el hueso colindante a la prótesis se debilita o deteriora con el paso del tiempo dado que apenas sostiene peso, de forma que el enlace entre ésta y el hueso también lo hace, siendo necesario sustituir el implante [138].

El desarrollo de la espuma de titanio permite paliar esta última dificultad y puede convertirse en un nuevo material óptimo para las aplicaciones en biomedicina, no siendo necesario su reemplazo [138].

Se podría decir que se trata de un nanocompuesto polimérico, ya que para su obtención se adhiere polvo de titanio a una matriz de poliuretano (PU), plástico extensamente utilizado en multitud de aplicaciones y productos. Este método es un procedimiento utilizado en pulvimetalurgia (fabricación de objetos metálicos a partir de polvos que se moldean y calientan) en el que se saturan unas espumas de poliuretano con una solución de aglutinante y polvo fino de titanio. El polvo se liga a la estructura de espuma de poliuretano, que posteriormente se evapora junto con el elemento de unión, quedando únicamente el titanio al que se dota de una estructura esponjosa similar a la de los huesos [138].

La estructura porosa que presenta el material permite a los huesos y vasos sanguíneos introducirse en el implante a medida que se van regenerando, a diferencia de los convencionales de titanio. Además, la espuma de titanio, bautizada por los investigadores como "TiFoam", se asemeja más a los huesos en cuanto a su flexibilidad [140].

De esta forma, se ha desarrollado una nueva tecnología para implantes y prótesis óseas, que permiten al hueso regenerarse con éxito (a diferencia de las de titanio), además de proporcionar la posibilidad de que la persona desarrolle una vida normal. De hecho, es recomendable comenzar a estimular la articulación

desde el primer momento en el que se coloca el implante para impulsar el crecimiento de las células óseas dentro del mismo [138, 140].

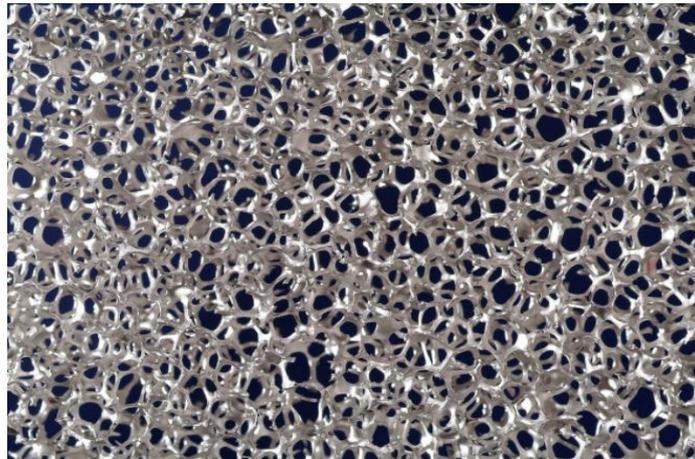


Figura 22. Espuma de titanio [Recuperado de Fraunhofer Press - Titanium foams replace injured bones]

6.2 SEDA DE ARAÑA

La seda de araña ha sido analizada anteriormente en *2.1 SEDA DE ARAÑA ARTIFICIAL* como un material útil en la industria textil, pero entre sus numerosas aplicaciones también está la biomedicina.

Lo que convierte a la seda de araña en un material de interés para utilizarlo en multitud de situaciones son sus excepcionales propiedades físicas y químicas. Se trata de un material increíblemente fuerte y flexible, pero, en el ámbito de la biomedicina, una de las más características más relevantes para su utilización es la biocompatibilidad [141].

Uno de los recientes descubrimientos es el uso de la seda de araña en la fabricación de lentes ópticas, siendo la seda empleada de origen natural. Los arácnidos son capaces de fabricar diferentes tipos de seda, cada una con unas propiedades diferentes. En lo que respecta a esta aplicación, la seda utilizada fue la seda *Dragline* de la especie *Pholcus phalangioides* [142], tipo de seda conocida también como dragalina y aceptada como la más fuerte, resistente y flexible de las estudiadas hasta ahora [143]. Goteando una resina sobre la seda, se consigue moldear una película en forma de cúpula, que puede emplearse como lente óptica. Al enfocarla con un láser, comprobaron que podía proporcionar imágenes de una elevada resolución, útiles en observación de tejido biológico a muy pequeña escala, del orden de nanómetros [142].

También se conoce por su poder antibacteriano y curativo. Tiene un gran valor como cicatrizante y desinfectante y su alto contenido en vitamina K hace de la

seda de araña un excelente coagulante. De esta forma se convierte en un material de utilidad en cirugías, injertos de piel, cosidos, etc. [143]. Igualmente en reparación de tendones y nervios, destinada especialmente a aquellos pacientes que han padecido algún accidente por el que han sufrido algún tipo de desgarre [144]. La tecnología desarrollada por el equipo de cirugía estética alemán liderado por Peter Vogt consiste en introducir hilos de seda de araña dentro de unas venas de origen porcino, con la intención de que ejerzan de guía para que los nervios encuentren el camino hasta el otro extremo del nervio roto [145].

Su biodegradabilidad, propiedad mencionada en *2.1 SEDA DE ARAÑA ARTIFICIAL*, puede resultar de interés en administración de medicinas, de forma que una vez suministradas la seda de araña se desintegra sin causar perjuicio [144].

El principal inconveniente de este magnífico material es su difícil producción en altas cantidades, lo que supone un impedimento a la hora de comercializarlo. Por este motivo se trabaja en obtener la seda de araña de una forma artificial.

6.3 NANOPARTÍCULAS DE HIDROGELES

Las nanopartículas de hidrogeles (NPs) han cobrado un reciente y cada vez mayor interés en el ámbito de la biomedicina como vehículos de fármacos, pero también en reparación de tejidos, por lo que tienen un alto valor en investigación [146].

Un hidrogel es un material polimérico que tiene la capacidad de almacenar altas cantidades de agua en su estructura tridimensional pero no tiene la cualidad de disolverse en ella. Otro atributo de estos materiales es su buena flexibilidad, similar a la de un tejido biológico. A medida que se ha ido conociendo su utilidad se han ido desarrollando hidrogeles de forma sintética, especialmente en los últimos 20 años, de forma que se permite mejorar su propiedad hidrófila y longevidad, además de poder adaptar su biodegradabilidad u otras facultades [147].

Concretamente, un hidrogel es un material de dos o más componentes que conforman una red de tres dimensiones, consistente en cadenas de polímeros en las que los huecos existentes son completados con moléculas de agua [147]. Aunque depende de la naturaleza de los polímeros utilizados, generalmente los hidrogeles presentan una fracción de masa de agua muy superior a la del polímero (llegando en ocasiones a presentarse en una proporción 90%-10%) [147, 148].

La clasificación de estos materiales puede realizarse en función de diversos factores. Atendiendo a su origen, pueden ser sintéticos o naturales. Si se refiere a la composición polimérica pueden ser homopoliméricos (formados por una única especie de monómero, que es la unidad básica estructural que confecciona cualquier red polimérica), copoliméricos (contienen dos o más especies de

monómeros diferentes) o los denominados IPN (Multipolymer Interpenetrating polymeric hydrogel), compuestos por dos polímeros diferentes. También pueden catalogarse en función de su estructura (amorfa, semicristalina o cristalina), su apariencia física o incluso de su carga eléctrica [147].

La utilidad de los hidrogeles reside en su capacidad de diseñarse de forma que sean capaces de responder a diferentes estímulos. Pueden ‘hincharse’ de agua en respuesta a variaciones de temperatura, luz, presión, sonido, pH, composiciones químicas, etc., pero también deshincharse. Esta aptitud puede resultar interesante en diferentes aplicaciones dentro del campo de la medicina o biomedicina, como puede ser en medicina regenerativa, vendajes o administración de medicamentos, entre otros [147].

Las nanopartículas de hidrogeles, también conocidas como nanogeles (NPs) reciben mucha atención al disponer de todas las ventajas de los hidrogeles a escala nanométrica. Son frecuentemente utilizadas en investigación para la administración de fármacos gracias a la posibilidad de dirigirse a un órgano en concreto o células específicas, como pueden ser las células tumorales. De esta forma se pueden obtener ciertos beneficios en cuanto a seguridad y eficacia: no dañan otras células a las que no sean dirigidos ni se ‘pierde’ parte del medicamento [148].

La medicina puede encapsularse en nanogeles de diferentes formas y tamaños en función de las técnicas utilizadas en su fabricación [146], pudiendo obtener nanoesferas, nanopartículas, nanocápsulas... cada una de ellas con facultades específicas. Por ejemplo, las nanoesferas aportan el fármaco de una manera más uniforme que las nanopartículas [148].

Los nanogeles permiten utilizar una técnica mucho menos invasiva de administración de medicamento, pudiendo internarse a través de pequeñas agujas y catéteres. Logran que el fármaco tenga acceso a cavidades de difícil acceso, como espacios entre articulaciones, puede ser inyectado directamente en el tejido o dirigirse a órganos y partes del cuerpo concretas (por ejemplo, si se activan con una variación de pH le permitiría llegar al estómago y actuar únicamente en él) [148], tal y como se muestra en la figura siguiente:

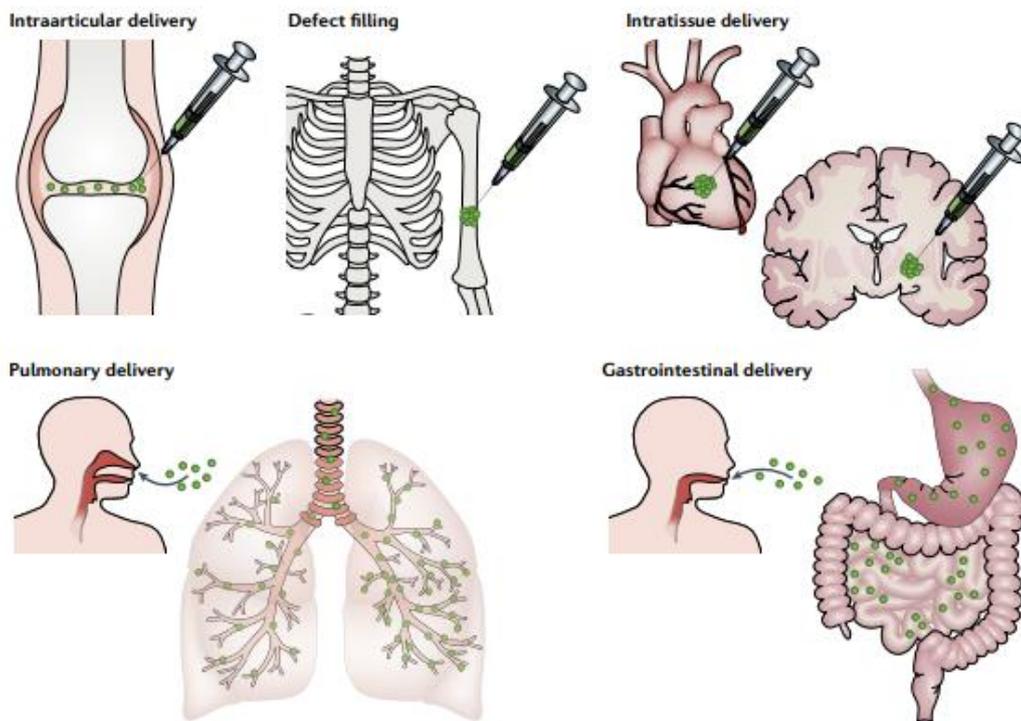


Figura 23. Aplicaciones de las nanopartículas de hidrogeles [Recuperado de *Hydrogel microparticles for biomedical applications* - doi: 10.1038/s41578-019-0148-6

6.4 IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D es uno de los avances tecnológicos que ha experimentado un mayor crecimiento en los últimos años. Esta técnica consiste en la superposición de capas de un material con el objetivo de formar el cuerpo tridimensional deseado siguiendo un modelo digital proporcionado y mediante diseño asistido por ordenador [149].

La formación de los modelos de tres dimensiones puede llevarse a cabo de diferentes maneras. Las más habituales en medicina son: la esterolitografía (consiste en la solidificación de capas de polímeros líquidos a partir de una fuente de iluminación), la sinterización selectiva por láser (trata de fusionar por capas un polvo mediante tecnología láser), el modelado por deposición fundida (el objeto se forma por deposición de gotas de plástico mediante un cabezal térmico) y las bioimpresoras (estos novedosos dispositivos utilizan una biotinta con propiedades que simulan tejido real para formar las capas) [149].

El interés que despierta esta tecnología en medicina se debe a su capacidad de ofrecer un tratamiento completamente individualizado para el paciente que se adapte perfectamente a las necesidades del mismo, de una forma bastante asequible. Las aplicaciones dentro del campo incluyen el diseño de herramientas quirúrgicas, prótesis e implantes personalizados [149, 150], aunque el área que

más se ha favorecido de la impresión 3D es el de los audífonos, seguida del de los implantes dentales [151]. Además, resulta de gran utilidad en aquellas intervenciones quirúrgicas más complicadas, ya que permite la simulación de la operación mediante biomodelos que recrean aquellos órganos o partes del cuerpo que vayan a ser intervenidos, pudiendo así realizarse mediciones a escala real y practicar las veces necesarias antes del verdadero procedimiento [151, 152].

Mediante la impresión 3D se pueden fabricar prótesis que sustituyen extremidades y huesos en aquellos pacientes que carecen de ellos (o deben sustituirlos por daños) de una forma que se adapte completamente a su anatomía y más económicas que las tradicionales de titanio, por ejemplo, pero también se han desarrollado prótesis de tejido blando que puedan sustituir a la nariz, boca, rostro y otros, destinados a fines estéticos [149]. Como ya se ha mencionado, una de sus principales aplicaciones es en la fabricación de audífonos, siendo el 98% obtenido mediante esta técnica debido a la capacidad de adaptarse perfectamente a la cavidad auditiva del demandante [151].



Figura 24. Algunas de las posibilidades de la impresión 3D en medicina [Recuperado de Un cambio en los paradigmas de los sistemas de salud, la tecnología 3D – doi:10.35839/repis.4.3.68]

También se está aplicando la impresión 3D a la fabricación de medicamentos. Hasta ahora, el ajuste de las dosis o tratamientos se realizaba más bien de una forma poco personal, pudiendo causar efectos negativos sobre los pacientes. Gracias a esta tecnología, se puede optimizar y adecuar la medicación a cada individuo (o al menos a ciertos subgrupos en los que se podría dividir a la población) en función de su perfil y sus necesidades. Por ejemplo, en el caso de los pacientes que toman mucha medicación se podrían ‘unir’ todos los fármacos en una única cápsula, lo que ayudaría a cumplir con el tratamiento [153].

CONCLUSIONES

Este trabajo ha realizado una revisión de los principales nuevos materiales utilizados en diferentes industrias desde un punto de vista económico y sostenibilidad medioambiental, cumpliendo con el objetivo principal definido.

Además:

1. El trabajo ha permitido conocer los diferentes sectores industriales en los que se invierte en la búsqueda de nuevos materiales. Algunos de los más destacables y que han sido estudiados son: la construcción, la agricultura y ganadería, la medicina y biología, el sector energético, la industria de los plásticos, la textil y la electrónica. En todos ellos interesa el desarrollo de materiales respetuosos con el medioambiente o que puedan contribuir al frenado del cambio climático del que son responsables, en diferente medida.
2. En el trabajo se han estudiado de forma concreta diferentes nuevos materiales que han dado soluciones sostenibles en diferentes aplicaciones. En el sector de la construcción se pueden hallar ladrillos ecológicos que prescindan del cemento, tejas que aprovechan residuos en su fabricación y hasta una pintura que recubre los edificios y transforma el sol que impacta sobre ella en energía. Cabe destacar también el material textil que evita el uso de fibras con contenido plástico y utiliza materia biodegradable como hongos, posos de café, huesos de olivas, hojas de piña o cáscara de naranja (residuos que de otra forma acabarían en vertederos). Aprovechar el fenómeno piezoeléctrico para generar energía al pisar unas baldosas especiales o emplear combustibles verdes en la producción de electricidad también es una posible solución a reducir las emisiones de CO₂ del sector. Dispositivos más eficientes y con mayor vida útil (gracias a nuevos materiales como el grafeno o la IA, entre otros) también contribuirían a la disminución de acumulación de basura electrónica y contaminación de las aguas, en las que se pueden utilizar materiales superabsorbentes como la upsalita para eliminar parte de las sustancias tóxicas presentes en ellas. Alternativas desarrolladas con nanotecnología y biotecnología que eviten el uso de pesticidas que dañan y acidifican el terreno debido a su uso en cultivos o la agricultura hidropónica son de un gran interés en el sector agropecuario. Sin olvidar mencionar los nuevos materiales empleados en biomedicina que aumentan la esperanza y calidad de vida, como prótesis e implantes producidos con nuevos materiales más adecuados y seguros (no tóxicos) para el cuerpo humano, junto con la ayuda prestada por la impresión 3D.
3. El trabajo ha analizado las ventajas y desventajas económicas y medioambientales de estos nuevos materiales. De forma resumida, se puede concluir que en las ventajas superan las desventajas, que generalmente suelen ser la dificultad de producción en masa de estos

materiales o la baja rentabilidad económica de su comercialización. Sin embargo, en la mayoría de los casos estudiados, no se da esta situación y los nuevos materiales tienen un impacto medioambiental positivo destacable y real a largo plazo, que puede ayudar a conseguir un futuro sostenible y alcanzar una economía circular.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Videa Project (2015). *Diez mil millones* [Vídeo]. Recuperado de <https://vimeo.com/150533241>
- [2] NASA Global Climate Change (10 de julio de 2020). *Graphic: Temperature vs Solar Activity*. Consulta 5 de octubre de 2020. Recuperado de https://climate.nasa.gov/climate_resources/189/graphic-temperature-vs-solar-activity/
- [3] United Nations - Climate Change. *What is the Paris Agreement?* Consulta 4 de octubre de 2020. Recuperado de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/what-is-the-paris-agreement>
- [4] Submission by Latvia and the European Commission on behalf of the European Union and its member states (2015). Recuperado de <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Spain%20First/LV-03-06-EU%20INDC.pdf>
- [5] Noticias Parlamento Europeo (2 de diciembre de 2015). *Economía circular: definición, importancia y beneficio*. Consulta 8 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201ST005603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>
- [6] Revisión de la aplicación de la normativa medioambiental de la UE 2019 Informe de ESPAÑA (2019). *Documento de trabajo de los servicios de la Comisión Europea*. Recuperado de https://ec.europa.eu/environment/eir/pdf/report_es_es.pdf
- [7] Lutsey, N. (2015). Global climate change mitigation potential from a transition to electric vehicles. *The International Council on Clean Transportation*, 2015-5. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Nicholas_Lutsey/publication/286623711_Global_climate_change_mitigation_potential_from_a_transition_to_electric_vehicles/links/566c547708aea0892c4fbc0d.pdf
- [8] El Mundo (16 de julio de 2019). *Nuevos materiales que revolucionan el mundo*. Consulta el 10 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.elmundo.es/extras/30-aniversario-el-mundo/2019/07/16/5d2c4ca321efa07c0b8b460b.html>
- [9] Zorrilla, V. (2014). Nanoingeniería y nanoproducción industrial. *Técnica Industrial*, 306, 82. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Vanessa_Zorrilla_Munoz/publication/314246273_Nanoingenieria_y_nanoproduccion_industrial/links/5e866596299bf130797468cf/Nanoingenieria-y-nanoproduccion-industrial.pdf

- [10] Nuevas Tecnologías y Materiales (16 de junio de 2015). *Nanociencia y nanotecnología*. Consulta el 10 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://nuevatecnologiasymateriales.com/nanociencia-y-nanotecnologia/>
- [11] Bartolomé, F., de Damborenea, J.J., García, J.L., González, J., Hernando, A., Mijangos, C., Serafín, J., Pascual, J., San Román, J., and Zaldo, C. (2007). Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI. *Colección Divulgación CSIC*. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/3155>
- [12] Hamers, R. J. (2017). Nanomaterials and global sustainability. *Accounts of Chemical Research*, 50(3), 633-637. doi:10.1021/acs.accounts.6b00634
- [13] Ávalos, A., Haza, A. I., and Morales, P. (2016). NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA I: APLICACIONES. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(2), 1. doi: 10.5209/rev_RCCV.2016.v10.n2.53544
- [14] Muñoz, E. (2000). Biotecnología y desarrollo en distintos contextos culturales. Influencias e impactos. *Ciencia, tecnología/naturaleza, cultura en el siglo*, 21, 183-204. Recuperado de <http://www.ub.edu/prometheus21/articulos/biotec.pdf>
- [15] Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de Argentina (2010). Biotecnología y producción de alimentos. *Revista Alimentos Argentinos* 47(9) 41-45. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/47/articulos/r47_09_Biotecnologia.pdf
- [16] Vozpópuli (23 de febrero de 2018). *La sostenibilidad ambiental, un reto de las empresas para el presente*. Consulta el 27 de noviembre de 2020. Recuperado de https://www.vozpopuli.com/economia-y-finanzas/empresas/sostenibilidad_0_1010900131.html
- [17] RobecoSAM. *Country Sustainability Ranking*. Consulta 8 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.robecosam.com/en/key-strengths/country-sustainability-ranking.html>
- [18] Arrevol (11 de julio de 2016). *7 materiales en el futuro de la construcción*. Consulta 10 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.arrevol.com/blog/7-materiales-del-futuro-en-la-construccion>
- [19] Domínguez, Z.A. (2017). *Estudio de prefactibilidad para el desarrollo de un sistema de fabricación de tejas elaboradas a partir de fibras naturales de bambú y polietileno de baja densidad de reciclado primario*. (Licenciatura thesis). Universidad de San Carlos de Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/8225>
- [20] Gaibor, N.Y., Chango, G.C., Flores, L.M., Gaibor, J.C., and Brito, H.L. (2019). USE OF PLASTIC WASTE IN THE FORMULATION OF PREFABRICATED CONCRETE ROOFING. Recuperado de

https://www.researchgate.net/profile/Linda_Flores8/publication/336242465_USE_OF_PLASTIC_WASTE_IN_THE_FORMULATION_OF_PREFABRICATED_CONCRETE_ROOFING/links/5d9658b492851c2f70e81a6a/USE-OF-PLASTIC-WASTE-IN-THE-FORMULATION-OF-PREFABRICATED-CONCRETE-ROOFING.pdf

[21] Topacio, A., Eng, M., Arkuino, R.C., Romano, K.V., and Abutin, J.C. (2018). Development of Hydrophobic Composite Roof Tiles Utilizing Recycled Plastic Materials. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Anjerick_Topacio2/publication/328081623_Development_of_Hydrophobic_Composite_Roof_Tiles_Utilizing_Recycled_Plastic_Materials/links/5bb6aea3a6fdcc9552d3d4a6/Development-of-Hydrophobic-Composite-Roof-Tiles-Utilizing-Recycled-Plastic-Materials.pdf

[22] Roofy. *Tejas de plástico*. Consulta 10 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.roofy.es/>

[23] Roof Eco System. *Roof Eco Smart System*. Consulta 10 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.roofecosystem.com/>

[24] Ecología Verde (2018). *Ladrillos ecológicos: qué son, tipos y ventajas*. Consulta 12 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/ladrillos-ecologicos-que-son-tipos-y-ventajas-456.html>

[25] BioMASON Building with nature. *Revolutionary cement tile*. Consulta 12 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.biomason.com/>

[26] DURABRIC. *DURABRIC - A game-changer in construction*. Consulta 12 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.durabric.com/>

[27] Jamain, C., Sánchez, J.C., Yuwen, L., and Patiño, M. (2019). Ladrillos ecológicos a partir de colillas de cigarro. *Ingenia Materiales* 52-53. Recuperado de <https://polired.upm.es>

[28] Arrevol (12 de junio de 2017). *5 pinturas innovadoras para un futuro mejor*. Consulta 16 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.arrevol.com/blog/5-pinturas-innovadoras-para-un-futuro-mejor>

[29] Genovese, M. P., Lightcap, I.V., and Kamat, P.V. (2012). Sun-Believable Solar Paint. A Transformative One-Step Approach for Designing Nanocrystalline Solar Cells. *ACS Nano* 6 (1), 865-872. doi: 10.1021/nn204381g

[30] Daeneke, T., Dahr, N., Atki, P., Clark, R. M., Harrison, C. J., Brkljača, R., and Kalantar-zadeh, K. (2017). Surface Water Dependent Properties of Sulfur-Rich Molybdenum Sulfides: Electrolyteless Gas Phase Water Splitting. *ACS Nano*, 11(7), 6782-6794. doi: 10.1021/acsnano.7b01632

- [31] RMIT University (14 de junio de 2017). *Researchers have developed a solar paint that can absorb water vapour and split it to generate hydrogen – the cleanest source of energy*. Consulta 13 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.rmit.edu.au/news/all-news/2017/jun/solar-paint-offers-endless-energy-from-water-vapour>
- [32] Jonkers, H.M., and Schlangen, E. (2008). Tailor Made Concrete Structures. Walraven & Stoelhorst (Eds.), *Development of a bacteria-based self healing concrete* (pp. 426-430). London, Taylor & Francis Group.
- [33] Rising, A., and Johansson, J. (2015). Toward spinning artificial spider silk. *Nat Chem Biol* 11, 309–315. doi: 10.1038/nchembio.1789
- [34] Eco-circular. El portal de noticias de economía circular (8 de julio de 2019). *Humana recupera más de 8000 toneladas de ropa en España*. Consulta 25 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://eco-circular.com/2019/07/08/humana-recupera-mas-de-8-000-toneladas-de-ropa-en-espana/>
- [35] Joshi, K., Meher, M.K., and Poluri, K.M. (2020). Fabrication and Characterization of Bioblocks from Agricultural Waste Using Fungal Mycelium for Renewable and Sustainable Applications. *ACS Applied Bio Materials* 3(4), 1884-1892. doi: 10.1021/acsabm.9b01047
- [36] VIX (3 de julio de 2019). *Inventaron un cuero que no necesita la piel de ningún animal ¡Y es amigable con el medio ambiente!* Consulta 29 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://www.vix.com/es/mundo/217745/inventaron-un-cuero-que-no-necesita-la-piel-de-ningun-animal-y-es-amigable-con-el-medio-ambiente>
- [37] Bolt Threads. *Bolt Technology – MEET MYLO*. Consulta 29 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://boltthreads.com/technology/mylo/>
- [38] Deeg, K., Gima, Z., Smith, A., Stoica, O., and Tran, K. (2017). Greener Solutions: Improving performance of mycelium-based leather. *PH 290 – Greener Solutions Fall 2017*. Recuperado de <https://www.semanticscholar.org/paper/Greener-Solutions-%3A-Improving-performance-of-Deeg-Gima/1da1009bd8b03adbdd465b23cff8783d519282f1?p2df>
- [39] Materiales Ecológicos. *Cuero vegano, la alternativa al cuero animal, sostenible y libre de crueldad*. Consulta 28 de septiembre de 2020. Recuperado de <https://materialesecologicos.es/cuero-vegano-cuero-hongo/>
- [40] Costantini, A.O., Perez, M.G., Busto, M., González, F.A., Cosentino, V.R.N., Romaniuk, R.I., and Taboada, M.A. (2018). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Producción Ganadera. *Ciencia e Investigación* 68(5) 47-54. Recuperado de <https://repositorio.inta.gov.ar/handle/20.500.12123/4389>

- [41] Ferreira, J., and Ferreira, C. (2019). SEEKING SUSTAINABILITY IN THE COFFEE SHOP INDUSTRY: INNOVATIONS IN THE CIRCULAR ECONOMY. *The Centre for Business in Society White Paper Series*. Recuperado de https://pure.coventry.ac.uk/ws/portalfiles/portal/24939236/1908_coffee_and_the_circular_economy_final.pdf
- [42] SINGTEX. S.Café. Consulta 2 de octubre de 2020. Recuperado de http://www.singtex.com/en-global/technology/fabrics_info/scafe
- [43] SINGTEX (2017). *S.Cafe intro english 3mins* [Video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=3DxLYeba5II>
- [44] Önlü, N. (2017). SUSTAINABILITY BY DESIGN IN TEXTILE PRODUCTS AND FASHION. *New Design Ideas* 1(1) 37-49. Recuperado de <http://jomardpublishing.com/UploadFiles/Files/journals/NDI/V1N1/OnluN.pdf>
- [45] S.Café Sustainable Performance. *What is S.Café?*. Consulta 2 de octubre de 2020. Recuperado de <http://www.scafefabrics.com/en-global/about/particular>
- [46] Fashion United (18 de abril de 2017). *Tejidos innovadores sostenibles: S.Café, posos de café convertidos en ropa*. Consulta 2 de octubre de 2020. Recuperado de <https://fashionunited.es/noticias/moda/tejidos-innovadores-sostenibles-s-cafe-posos-de-cafe-convertidos-en-ropa/2017041823846>
- [47] Cook, G., and Jardim, E. (2017). Guide to Greener Electronics. *Greenpeace Reports*. Recuperado de <http://www.greenpeace.org/usa/wp-content/uploads/2017/10/Guide-to-Greener-Electronics-2017.pdf>
- [48] Déleg, M. (2010). Tecnología LED. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/tecnologia-led-ensayo/tecnologia-led-ensayo.pdf>
- [49] Hipertextual (4 de abril de 2020). *El accidentado y vertiginoso origen de las luces LED*. Consulta 8 de octubre de 2020. Recuperado de <https://hipertextual.com/2020/04/historia-luces-led>
- [50] BBC News (10 de octubre de 2012). *El invento que cambió la historia de la luz*. Consulta 8 de octubre de 2020. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/10/121010_tecnologia_led_bombillo_50anos_luz_dp
- [51] ABC Ciencia (7 de octubre de 2014). *Los inventores de las bombillas LED de bajo consumo, Nobel de Física 2014*. Consulta 8 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.abc.es/ciencia/20141007/abci-inventores-luces-nobel-fisica-201410071159.html>

- [52] Diewald, W. (2004). Nuevas posibilidades de iluminación con LED. *Técnica Industrial - Empresas*. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/tiadmin/numeros/15/10/a10.pdf>
- [53] Forsgren, J., Frykstrand, S., Grandfield, K., Mihranyan, A., & Strømme, M. (2013). A Template-Free, Ultra-Adsorbing, High Surface Area Carbonate Nanostructure. *PLOS ONE*, 8(7). doi: 10.1371/journal.pone.0068486
- [54] Productos químicos y Medio Ambiente (22 de julio de 2013). *Se descubre la Upsalita: un material súperabsorbente*. Consulta 9 de octubre de 2020. Recuperado de <https://productosquimicosymedioambiente.com/descubre-upsalita-material-superabsorbente/>
- [55] El Diario (27 de septiembre de 2020). *¿Qué es la inteligencia artificial?* Consulta el 3 de noviembre de 2020. Recuperado de https://www.eldiario.es/red/que-es/inteligencia-artificial_1_6247596.html
- [56] Toyota. *Ventajas y desventajas de los coches autónomos*. Consulta el 3 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/ventajas-desventajas-coches-autonomos>
- [57] Lu, H., Li, Y., Chen, M., Kim, H., and Serikawa, S. (2017). Brain Intelligence: Go beyond Artificial Intelligence. *Mobile Networks and Applications*, 23(2), 368–375. doi: 10.1007/s11036-017-0932-8
- [58] Amir Salud (12 de abril de 2019). *¿Cómo beneficia el Big Data a la medicina?* Consulta el 4 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://amirsalud.com/beneficio-big-data-medicina/>
- [59] Dosilovic, F. K., Brcic, M., and Hlupic, N. (2018). Explainable artificial intelligence: A survey. *MIPRO*, 21-25. doi: 10.23919/mipro.2018.8400040
- [60] Nishant, R., Kennedy, M., and Corbett, J. (2020). Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *International Journal of Information Management*, 53, Article 102104. doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2020.102104
- [61] Pedreño, A., and Moreno, L. (2018). Big Data e Inteligencia Artificial. Una visión económica y legal de estas herramientas disruptivas (Eds.), *El impacto económico de la inteligencia artificial* (pp. 5-26). Universidad de Valencia.
- [62] Joppa, L., and Herweijer, C. (2018) How AI can enable a Sustainable Future. *Microsoft in association with PwC*. Recuperado de <https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/pdf/how-ai-can-enable-a-sustainable-future.pdf>

- [63] Moliner, R. (2016). Del carbón activo al grafeno: Evolución de los materiales de carbono. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (41), 2-5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6164944>
- [64] PAZ, I. (2018). *El grafeno. Posibilidades del grafeno en la arquitectura* (Trabajo de fin de grado). Universidad Politécnica de Madrid. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/151618253.pdf>
- [65] Info Grafeno. *Todo sobre el Grafeno*. Consulta 17 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.infografeno.com/>
- [66] WARWIC -News & Events (24 de enero de 2018). *Adding graphene girders to silicon electrodes could double the life of lithium batteries*. Consulta 17 de octubre de 2019. Recuperado de https://warwick.ac.uk/newsandevents/pressreleases/adding_graphene_girders
- [67] ABC – TECNOLOGÍA (13 de abril de 2011). *IBM lanza un transistor de grafeno aún más rápido*. Consulta 17 de octubre de 2020. Recuperado de https://www.abc.es/tecnologia/abci-lanza-transistor-grafeno-rapido-201104130000_noticia.html
- [68] Barrera, M., Pajares, L., Clemente, Ó., De Castro, A., López, V., y Fuentes, F. (2007). *Fabricación de Paneles Solares Fotovoltaicos*. Universitat Jaume I de Castellón de la Plana. Recuperado de https://www.fisica.uji.es/priv/web%20master%20SIH007/temes/treballs/1%20fabricaci%3n_paneles_a.pdf
- [69] Diario Ti (18 de agosto de 2017). *Los transistores de grafeno multiplicarán por 1000 la capacidad de cómputo*. Consulta 17 de octubre de 2020. Recuperado de <https://diarioti.com/los-transistores-de-grafeno-multiplicaran-por-1000-la-capacidad-de-computo/105410>
- [70] Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., and Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596-609. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.191
- [71] Bartolomé, F., Damborenea, J. D., García Fierro, J. L., Figueras, A., González de la Campa, J., Hernando, A., Mijangos, C., Moya, J.S., Pascual, J., San Román, J., and Zaldo, C. (2007). *Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI. Colección Divulgación CSIC*. Recuperado de <https://www.icmm.csic.es/es/divulgacion/documentos/materiales.pdf>
- [72] Owusu, P. A., and Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990. doi: 10.1080/23311916.2016.1167990

- [73] Gielen, D., Boshell, F., Saygin, D., Bazilian, M. D., Wagner, N., and Gorini, R. (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24, 38-50. doi: 10.1016/j.esr.2019.01.006
- [74] IRENA (International Renewable Energy Agency). *About IRENA*. Consulta 20 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.irena.org/aboutirena>
- [75] BP (2019). *Statistical Review of World Energy 2019*. Consulta el 1 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
- [76] IRENA (2020). Reaching zero with renewables: Eliminating CO₂ emissions from industry and transport in line with the 1.5 °C climate goal. *International Renewable Energy Agency*. ISBN 978-92-9260-269-7. Recuperado de <https://www.irena.org/publications/2020/Sep/Reaching-Zero-with-Renewables>
- [77] OTOVO – Energía (28 de octubre de 2020). *El impacto positivo de las energías renovables sobre el medioambiente*. Consulta el 1 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.otovo.es/blog/energia/impacto-energias-renovables-medioambiente/>
- [78] IEA Technology report (Junio 2019). *The Future of Hydrogen*. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- [79] BBC News – Mundo (3 de enero de 2020). *Qué es el hidrógeno verde y cómo podría ayudar a limpiar nuestras carreteras de CO₂ y a cocinar con menos humos*. Consulta 23 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50974930>
- [80] Fierro, J. L. (2011). El hidrógeno: metodologías de producción. *Lychnos*, (6), 50-54. Recuperado de http://fgcsic.es/lychnos/es_ES/articulos/hidrogeno_metodologias_de_produccion
- [81] BBC News – Mundo (26 de agosto de 2020). *Energías renovables: qué son los hidrógenos verde, azul y negro (y por qué se invierten miles de millones en 2 de ellos)*. Consulta 23 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-53925884>
- [82] NATIONAL GEOGRAPHIC España (8 de diciembre de 2019). *Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo*. Consulta 23 de octubre de 2020. Recuperado de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897
- [83] UNIÓN FENOSA GAS – Newsletter (diciembre de 2019). *En qué consiste la Captura y Almacenamiento de Carbono (CCS)*. Recuperado de

<https://www.unionfenosagas.com/es/Newsletter/NoticiaNewsletter/ccs-captura-almacenamiento-carbono?p=DICIEMBRE2019>

[84] Giménez, J. C. (2019). La hora del hidrógeno verde. *Gas actual*, (153), 24-30. Recuperado de

https://www.gasrenovable.org/docs/hidrogeno_renovable/Reportaje-La_hora_del_Hidrogeno_verde.pdf

[85] van Rensen, S. (2020). The hydrogen solution? *Nature Climate Change*, 10(9), 799-801. doi: 10.1038/s41558-020-0891-0

[86] CincoDías - El País Economía (18 de octubre de 2020). *Repsol desarrolla una tecnología para producir hidrógeno renovable a partir de energía solar*. Consulta 23 de octubre de 2020. Recuperado de https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/10/18/companias/1603030106_105196.html

[87] Garrido, M. (2020). Biocombustibles y producción de biohidrógeno. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (38), 8. Recuperado de https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero38/Des_tacado-1.pdf

[88] Cortés, M. D., Gata, E. M., Pipió, A., Rivas, Á., and Sánchez, J. M. (2019). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, (35), 6. Recuperado de https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Des_tacado-1.pdf

[89] Sanderson, K. (2012). Biocombustibles de segunda generación. *Investigación y Ciencia* (431). Recuperado de <https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-ecosistema-interior-556/biocombustibles-de-segunda-generacin-9346>

[90] Ramos, F. D., Díaz, M. S., and Villar, M. A. (2016). Biocombustibles. *Ciencia Hoy* 25(147), 69-73. Recuperado de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/25791/CONICET_Digital_Nro.cf291889-a370-4b7a-915b-4de3e1058c97_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

[91] Vásquez, S. M. (2019). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados* (Trabajo experimental). Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17633/4/UPS-CT008382.pdf>

[92] Veses, A. (2016). *Producción de biocombustibles de segunda generación a partir de biomasa de origen lignocelulósico* (Tesis doctoral). CSIC - Instituto de Carboquímica (ICB). Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://digital.csic.es/handle/10261/142670>

- [93] Portero, P. (2019). *Etanol celulósico: desarrollo de una tecnología óptima para la producción semi-continua* (Tesis doctoral). Universidad de Valladolid. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/39472/Tesis1646-191125.pdf?sequence=1&isAllowed=yç>
- [94] Consumer Eroski (17 de agosto de 2009). *Biocombustible con celulosa*. Consulta 26 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/biocombustible-con-celulosa.html>
- [95] Boletín Vigilancia Tecnológica Biomasa OEPM (3^{er} trimestre 2016). *Biocombustibles a partir de algas: Proyectos Europeos*. Recuperado de https://www.oepm.es/export/sites/oepm/comun/documentos_relacionados/Boletines/Energias_renovables/opti_BVT_EnergiasRenovablesBiomasa_21.pdf
- [96] Iagua (7 de junio de 2017). *Algas: Del agotamiento a la recuperación de recursos*. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/barry-liner/algas-agotamiento-recuperacion-recursos>
- [97] Gamarra, M. R. (2017). Combinar conocimientos para mejorar la producción sostenible de Biocombustible de Algas. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Maria_Gamarra_Cespedes/publication/317179839_Combinar_conocimientos_para_mejorar_la_produccion_sostenible_de_Biocombustible_de_Algas/links/592ae0270f7e9b9979a955cc/Combinar-conocimientos-para-mejorar-la-produccion-sostenible-de-Biocombustible-de-Algas.pdf
- [98] Arce, A., Echave, J., Groba, J., Méndez, A., Ruiz, M., and Rus, A. (2015). Cultivo de algas para la producción de biocombustibles. *Revista de Biología UVIGO* (6), 138-147. Recuperado de http://revbigi.webs.uvigo.es/images/revbigi/2015/Revbigi_2015_13.pdf
- [99] Libreros, M., and Mendieta, I. (2017). Uso de algas para obtener biocombustible y bioenergía con base en biotecnología marina. *RD ICUAP*. Recuperado de <https://icup.buap.mx/sites/default/files/revista/2017/01/algas.pdf>
- [100] Madri+d Blogs (1 de octubre de 2007). *Las algas: un biocombustible de gran potencial*. Consulta el 29 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/energiasalternativas/2007/10/01/74977>
- [101] NATIONAL GEOGRAPHIC España (23 de mayo de 2012). *Unas baldosas generan energía con nuestras pisadas*. Consulta 29 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/unas-baldosas-generan-energia-con-nuestras-pisadas>
- [102] Pavegen. *Home*. Consulta el 30 de octubre de 2020. Recuperado de <https://pavegen.com/>

[103] Muy Interesante (15 de octubre de 2019). *Carreteras que generan energía, un paso más hacia el futuro*. Consulta el 30 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.muyinteresante.es/curiosidades-motor/articulo/carreteras-que-generan-energia-un-paso-mas-hacia-el-futuro-911570810684>

[104] Forbes (18 de junio de 2019). *As Britain Signals Retreat From Carbon, One Entrepreneur Steps Up To The Plate*. Consulta el 30 de octubre de 2020. Recuperado de <https://www.forbes.com/sites/trevorclawson/2019/06/18/as-britain-signals-retreat-from-carbon-one-entrepreneur-steps-up-to-the-plate/?sh=3f82ba636f93>

[105] Crowd Sourcing Week (21 de junio de 2019). *Building Smart Cities Step by Step*. Consulta 1 de noviembre de 2020. Recuperado de https://crowdsourcingweek.com/blog/sustainable-energy-building-smart-cities/?fbclid=IwAROGebBypret_aqiFN6X3iC6opbXgnGzf69UgUZ-lhtBBhtfyS5bLB-JEk

[106] Renovables Verdes. *Generar energía mientras caminas es posible (baldosas inteligentes Pavegen)*. Consulta 1 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.renovablesverdes.com/generar-energia-caminas-posible/>

[107] Naciones Unidas. Población. *Una población en crecimiento*. Consulta el 6 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>

[108] Pazos, L. A., Marín, V., Morales, Y. E., Baez, A., Villalobos, M. A., Pérez, M., and Muñoz, J. (2016). Uso de microorganismos benéficos para reducir los daños causados por la revolución verde. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(7), 72-85. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Munoz-Rojas/publication/311900407_Uso_de_microorganismos_beneficos_para_reducir_los_danos_causados_por_la_revolucion_verde/links/5af6f6f3aca2720af9c79f30/Uso-de-microorganismos-beneficos-para-reducir-los-danos-causados-por-la-revolucion-verde.pdf

[109] RTVE Noticias. Ciencia y tecnología (5 de junio de 2010). *La agricultura es uno de los sectores que provoca más daños ambientales*. Consulta el 6 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.rtve.es/noticias/20100605/agricultura-uno-sectores-provoca-mas-danos-ambientales/334194.shtml>

[110] Poore, J., and Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. Recuperado de https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:b0b53649-5e93-4415-bf07-6b0b1227172f/download_file?file_format=pdf&safe_filename=190222%2BReducing%2Bfoods%2Benvironmental%2Bimpacts%2Bthrough%2Bproducers%2Band%2Bconsumers_CORRECTED.pdf&type_of_work=Journal+article

- [111] Ubeda S., Aznar, M., and Nerín, C. (2018). Determinación de oligómeros en ácido poliláctico, PLA, biopolímero destinado al envase alimentario. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 6. doi:10.26754/jji-i3a.201802827
- [112] BBC News. Mundo (4 de septiembre de 2019). *Agricultura vertical: el boom del millonario negocio de las frutas y verduras futuristas que crecen en las ciudades*. Consulta el 8 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49530857>
- [113] Square Roots (3 de mayo de 2020). *10 Ways Square Roots' Farm-Tech Platform Empowers the Next Generation of Farmers*. Consulta el 8 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://squarerootsgrow.com/2020/03/05/10-Ways-Square-Roots-Farm-Tech-Platform-Empowers-the-Next-Generation-of-Farmers.html>
- [114] BBC News. Mundo (24 de julio de 2017). *Los depósitos viejos y oscuros que prometen producir alimentos de forma más eficiente*. Consulta el 8 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-39561481>
- [115] Rangelov, V., and Staykova, D. (2020). VERTICAL FARMS. *World Science*, 7(59). <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/view/1639/1524>
- [116] BBC News. Mundo (3 de enero de 2016). *La nube que puede cambiar la historia de los vegetales que comemos*. Consulta el 8 de noviembre de 2020. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/01/151224_finde_agricultura_hidroponica_lp
- [117] CADENA, C. (2019). *Fitoquímicos de taninos, saponinas y aceites esenciales exhiben microorganismos antiruminales para mitigar la producción de metano ambiental en la ganadería* (Trabajo de fin de grado). Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.11799/104515>
- [118] Carmona, J., Bolívar, D., and Giraldo, L. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49-63. Recuperado de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/323994/20781174>
- [119] Relling, A. E., and Mattioli, G. A. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes (Eds.), *Ecosistema microbiano para la digestión fermentativa* (pp. 23-25). Argentina: UNLP Editorial Edulp.
- [120] Hristov, A. N., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A., Yang, W., Tricarico, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., and Oosting, S. (2013). Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera—Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Gerber, P. J., Henderson

B., and Makkar, H. *FAO Producción y Sanidad Animal* (177). Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i3288s.pdf>

[121] Campo en acción (14 de octubre de 2020). *En bosques nativos, los sistemas ganaderos emiten menos óxido nítrico*. Consulta el 10 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.campoenaccion.com/actualidad/en-bosques-nativos-los-sistemas-ganaderos-emiten-menos-xido-nitroso.htm>

[122] FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM) – Resultados*. Consulta el 11 de noviembre de 2020. Recuperado de <http://www.fao.org/gleam/results/es>

[123] AGRONEGOCIOS (9 de julio de 2015). *Silvopastoreo, productividad con sostenibilidad*. Consulta el 11 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.agronegocios.co/ganaderia/silvopastoreo-productividad-con-sostenibilidad-2620271>

[124] Engormix. Ganadería. Artículos técnicos (13 de mayo de 2020). *Taninos: efecto de los taninos en la producción de carne y leche*. Consulta el 12 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/taninos-efecto-taninos-produccion-t45300.htm>

[125] Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M., and Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de Zootecnia*, 61(237), 51-66. doi: 10.21071/az.v61i237.2958

[126] Pick D Pack. Blog (11 de junio de 2015). *Envases de plástico para comida: PLA, PET, PP, PS y OPS*. Consulta el 23 de noviembre. Recuperado de <https://www.pickdpack.com/blog/conoce-todo-lo-que-necesitas-sobre-evases-de-plastico-para-la-industria-alimentaria/>

[127] Schweitzer, J.P., Gionfra, S., Pantzar, M., Mottershead, D., Watkins, E., Petsinaris, F., ten Brink, P., Ptak, E., Lacey, C., and Janssens C. (2018). Unwrapped: How throwaway plastic is failing to solve Europe's food waste problem (and what we need to do instead). Un estudio de Residuo Cero Europa y Amigos de la Tierra para la Coalición Rethink Plastic. Recuperado de https://gastronomiaycia.republica.com/wp-content/uploads/2018/04/informe_desperdicio_alimentos_envases_plasticos.pdf

[128] BBC News - Mundo (11 de diciembre de 2017). *5 gráficos para entender por qué el plástico es una amenaza para nuestro planeta*. Consulta el 24 de noviembre de 2020. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-42304901>

- [129] Valero-Valdivieso, M. F., Ortigón, Y., and Uscategui, Y. (2013). Biopolímeros: avances y perspectivas. *Dyna*, 80(181), 171-180. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20642>
- [130] Hernández, M.L., and Guzmán B. (2009). Biopolymers used in the manufacture of food packaging. *Revista Publicaciones e Investigación UNAD* 3(1). Recuperado de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/publicaciones-e-investigacion/article/view/572/1324>
- [131] Úbeda S., Aznar, M., and Nerín, C. (2018). Determinación de oligómeros en ácido poliláctico, PLA, biopolímero destinado al envase alimentario. *Jornada de Jóvenes Investigadores del I3A*, 6. doi:10.26754/jji-i3a.201802827
- [132] Marinero, E. A., Cornejo, G. V., Funes, C. R., and Toruño, P. J. (2020). Biopolímeros para uso agroindustrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termoplástico biodegradable. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 6(11), 1359-1382. doi:10.5377/ribcc.v6i11.9824
- [133] Calvino, V., Rojas, M. L., Delgado, F. J., and Cerpa, A. (2016). La revolución de los materiales del siglo XXI. *100cias@uned Vida científica*, 9, 94-104. Recuperado de <https://abacus.universidadeuropea.es/handle/11268/6778>
- [134] NIH National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering – Science Education. *Biomaterials*. Consulta el 2 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/biomaterials>
- [135] Jian, W., Hui, D., and Lau, D. (2020). Nanoengineering in biomedicine: Current development and future perspectives. *Nanotechnology Reviews*, 9(1), 700-715. doi:10.1515/ntrev-2020-0053
- [136] Tibbitt, M. W., Rodell, C. B., Burdick, J. A., and Anseth, K. S. (2015). Progress in material design for biomedical applications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(47), 14444-14451. doi: 10.1073/pnas.1516247112
- [137] Boletín Agrario - Glosario. *Nanocompuesto*. Consulta el 3 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://boletinagrario.com/ap-6.nanocompuesto.3400.html>
- [138] Fraunhofer – Press (1 de septiembre de 2010). *Titanium foams replace injured bones*. Consulta el 3 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.fraunhofer.de/en/press/research-news/2010/09/titanium-foams-replace-injured-bones.html>
- [139] el Periódico Mediterráneo (5 de noviembre de 2010). *¿Por qué se utiliza el titanio en las prótesis?* Consulta el 3 de diciembre de 2020. Recuperado de https://www.elperiodicomediterraneo.com/noticias/opinion/por-utiliza-titanio-proteseiros_610370.html

- [140] New Atlas - Science (24 de septiembre de 2010). *Titanium foam bone replacements on the way*. Consulta el 3 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://newatlas.com/tifoam-titanium-bone-implants/16453/>
- [141] BBC News - Mundo (5 de enero de 2017). *3 sorprendentes usos médicos de la seda de tela de araña*. Consulta el 5 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-38521614>
- [142] AIP Publishing (30 de junio de 2020). *Spider Silk Can Create Lenses Useful for Biological Imaging*. Consulta el 6 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://publishing.aip.org/publications/latest-content/spider-silk-can-create-lenses-useful-for-biological-imaging/>
- [143] Europapress – Cienciaplus (26 de julio de 2019). *La tela de araña más fuerte que existe contiene una proteína desconocida*. Consulta el 6 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-tela-arana-mas-fuerte-existe-contiene-proteina-desconocida-20190726145454.html>
- [144] Cinco Noticias. *La tela de araña tiene uso medicinal*. Consulta el 6 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.cinconoticias.com/la-tela-de-arana-tiene-uso-medicinal/>
- [145] Semana Sostenible – Actualidad (18 de diciembre de 2012). *Telas de araña para la cirugía humana*. Consulta el 6 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://sostenibilidad.semana.com/actualidad/articulo/telas-arana-para-cirugia-humana/28958>
- [146] Daly, A. C., Riley, L., Segura, T., and Burdick, J. A. (2020). Hydrogel microparticles for biomedical applications. *Nature Reviews Materials*, 5(1), 20-43. doi: 10.1038/s41578-019-0148-6
- [147] Ahmed, E. M. (2015). Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. *Journal of advanced research*, 6(2), 105-121. doi:10.1016/j.jare.2013.07.006
- [148] Hamidi, M., Azadi, A., & Rafiei, P. (2008). Hydrogel nanoparticles in drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, 60(15), 1638-1649. doi:10.1016/j.addr.2008.08.002
- [149] Telich J.E., Ramírez L.E., Palafox D., Ortega E., and Rendón M.A (2020). Aplicaciones de la impresión 3D en cirugía plástica reconstructiva. *Revista de la Facultad de Medicina (rfm)* 68(4). doi: 10.15446/revfacmed.v68n4.77862
- [150] Andrés, P., Calvo, J. A., Fillat, F., Andrés, I., and Perez, R. (2020). Papel del cirujano ortopédico y traumatólogo en la impresión 3D: aplicaciones actuales y aspectos legales para una medicina personalizada. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*. doi:10.1016/j.recot.2020.06.014

[151] I'MNOVATION #hub – Transformación digital. *Impresión 3D, la revolución de la biomedicina*. Consulta el 12 de diciembre de 2020. Recuperado de <https://www.imnovation-hub.com/es/transformacion-digital/impresion-3d-revolucion-biomedicina/>

[152] Voltes, A., De la Concepción, E., López, J. M., and Andrés, P. (2020). Impresión 3D para la planificación preoperatoria avanzada en cirugía ortopédica y traumatología. *Revista de la Sociedad Andaluza de Traumatología y Ortopedia*, 37(2), 58-68. Recuperado de http://revista.portalsato.es/index.php/Revista_SATO/article/view/149/132

[153] García, M. (2017). *Tratamiento personalizado: Medicamentos fabricados con impresora 3D*. (TFG). Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/56311/1/MARTA%20GARCIA%20PI%C3%91A.pdf>