



**UNIVERSIDAD DE BURGOS**

# **La Edad de los Polímeros**

**Un mundo de plástico**

**Prof. Dr. José Miguel García Pérez**

Catedrático de Química Orgánica

Departamento de Química, Facultad de Ciencias

LECCIÓN INAUGURAL DEL CURSO ACADÉMICO 2014-2015

**BURGOS**

**2014**

- Rector Magnífico de la Universidad de Burgos
- Excmo. Sr. Consejero de Educación
- Rectores y Vicerrectores de las Universidades de Castilla y León
- Claustro de Profesores, compañeros
- Excmas e Ilustrísimas Autoridades
- Familiares y amigos,
- Señoras y Señores

Cuando el Decano de la Facultad de Ciencias me propuso dictar esta Lección, honor que deseo agradecerle públicamente, inmediatamente pensé en mi campo de investigación, la ciencia y tecnología de polímeros, como tema conductor. No así la elección del enfoque, asunto complejo dada la extensión de la temática a tratar y mi pasión por este tema, que en ocasiones hace que me resulte difícil moderar la extensión e intensidad de mis alocuciones. Espero que este no sea el caso, y deseo despertar en ustedes el interés por la visión que les voy a ofrecer del mundo, desde el punto de vista de los materiales que utilizamos, que en definitiva nos hacen la vida más fácil.

Pensando en la orientación que iba a dar al tema, me vino a la mente la palabra “plástico”, como sinónimo de polímero, y el significado que los ciudadanos atribuyen a ésta, que evidentemente no está relacionado con su etimología griega, significa moldeable, ni tampoco con el de otra palabra derivada, e íntimamente relacionada, como plasticidad. Los plásticos tienen, como todos sabemos, una connotación peyorativa íntimamente asociada a materiales de bajo precio y en muchos casos único uso, que se asocia, por ejemplo, a las bolsas de los supermercados. Asimismo se relaciona con el impacto ambiental de éstos y prácticamente no se les atribuye ninguna característica positiva.

Voy a intentar ofrecerles otra perspectiva, centrada en sus aplicaciones, y en su contribución a nuestro bienestar. Aun así, es ineludible aportar unas pinceladas sobre el desarrollo histórico de los polímeros, que a mi modo de ver resulta imprescindible para entender el éxito y ubicuidad de éstos como materiales, que han desplazado en gran medida a los tradicionales, como la madera y los metales.



Curiosamente, y con un paralelismo absoluto al de la propia química, los polímeros artificiales se sintetizaron y explotaron comercialmente antes de que existiera el concepto

de polímero, e incluso antes del desarrollo de una teoría adecuada sobre el enlace que, junto con los átomos, conforma toda la materia. Entre los hitos históricos a resaltar se incluye la vulcanización del caucho con azufre, por parte de Goodyear, en 1839, la nitración de la celulosa y su hilado para producir “seda artificial” por Schönbein y Chardonet en 1846 y 1883, y específicamente la invención y comercialización de la baquelita por Leo Baekeland en 1910. Este hito supuso la puesta en marcha de la primera planta industrial de producción de polímeros sintéticos y, a mi entender, supone el inicio de la Edad de los Polímeros.

En la década de 1910 estaba en vigor la teoría micelar que describía a los polímeros como agregaciones de moléculas de baja masa molecular. Fue un químico de prestigio, Herman Staudinger, el que propuso en 1922 que los polímeros eran realmente moléculas gigantes, de masa molecular enorme, para las que acuñó el término macromolécula, que hoy en día es sinónimo de polímero. Su reputación no le salvó de las críticas, sino todo lo contrario. No se entendió como un químico tan reconocido se enfrentaba al dogma del momento en relación con una ciencia incipiente que además se apoyaba en el crecimiento de una industria ya por entonces poderosa. Así, Wieland, Premio Nobel en Química en 1927, escribía a Staudinger espetándole en una misiva “Deseche la idea de

moléculas grandes, no existen moléculas orgánicas con un peso molecular superior a 5.000 dalton. Purifique sus productos, como el caucho, entonces cristalizarán probando que son de bajo peso molecular”. Wieland murió en 1957, por lo que vivió para ver la concesión del premio Nobel a Staudinger en 1953. La defensa numantina de Staudinger del concepto de macromolécula en un congreso en Düsseldorf, en 1926, convenció al presidente del comité, Willstätter, quien afirmó: “el concepto de que las moléculas puedan tener un peso molecular de 100.000 es de alguna forma aterrador” mientras que otro delegado famoso dijo “estar tan conmocionados como lo estaría un zoólogo al que alguien hubiera dicho que en algún lugar de África se había encontrado un elefante de 500 metros de largo y 90 de ancho”.

Tras el establecimiento del concepto de macromolécula, el desarrollo de la ciencia y tecnología de polímeros fue exponencial, comenzando por el descubrimiento de los polímeros de condensación por Carothers, y su inmediata comercialización, especialmente la del nailon como primera fibra sintética. Así, el 15 de mayo de 1940 se pusieron a la venta las medias elaboradas con esta fibra, vendiéndose 5 millones de pares en un día. Carothers, químico ilustre y personaje fundamental en el establecimiento de las bases científicas de la ciencia que nos ocupa, opinaba que “las matemáticas se podían

aplicar para comprender la formación y propiedades de los polímeros” y, con este pensamiento en mente, contrató a Flory, que no sólo estableció las bases físicas, matemáticas e ingenieriles de la nueva ciencia, sino que dejó patente su carácter multidisciplinar, en una época en la que el saber, en general, estaba totalmente compartimentado. Flory recibió por ello el premio Nobel en 1974.

---

Pero, ¿qué es realmente un polímero?, o ¿cuál es su fuente u origen? Proceden, en su mayoría, del petróleo. Aproximadamente un 4% de este recurso fósil se emplea en la producción de polímeros, de los que se fabrican unos 300 millones de toneladas/año. Pero, ¿qué obtenemos realmente del petróleo? Moléculas pequeñas que llamamos monómeros, que se hacen reaccionar unas con otras para dar lugar a moléculas de gran tamaño, a las que se denomina macromoléculas o polímeros, palabra esta última que proviene del griego y significa muchas unidades, «poli» y «meros», respectivamente. Es decir, una molécula gigante formada por unidades que se repiten, como un tren constituido por cientos, miles o cientos de miles de vagones.

Pero realmente no hemos inventado los polímeros, ya que también hay macromoléculas naturales. Así, cabe mencionar

que la vida, tal como la conocemos hoy en día, tiene una base polimérica, puesto que tanto el ADN como las proteínas son polímeros naturales.

---

Es el momento de preguntarse por qué son útiles los polímeros como materiales, y no las moléculas pequeñas. Es una cuestión de tamaño, que afecta a las fuerzas que unen las moléculas, concepto en el que no voy a entrar, ya que prefiero ilustrarlo con el ejemplo concreto del polietileno, el polímero más consumido y barato, el de los forros de un libro, de una bolsa típica de supermercado, o de una prótesis de cadera. Del petróleo obtenemos etileno, una molécula con dos átomos de carbono, que es la unidad estructural, o repetitiva, del polímero. El etileno es un gas difícil de licuar. Con cuatro carbonos, es decir, dos unidades de etileno, se tiene el butano, combustible gaseoso fácilmente licuable. Con tres unidades el hexano, disolvente típico con punto de ebullición medio. Con cuatro los octanos, o gasolinas, con 10 los aceites para motores, con 20 las parafinas, y con 20.000 el polímero para fabricar la bolsa mencionada.

---

Bien, en este punto considero conveniente aclarar la terminología y diferenciar entre macromolécula o polímero,

que son básicamente equivalentes, y plástico. Los polímeros son las materias primas que una vez transformadas, se convierten en plásticos. En la transformación se añaden otros compuestos, como por ejemplo los colorantes que aportan el color a los productos.

---

Hoy en día, las aplicaciones de los plásticos copan todos los ámbitos de desarrollo de la vida del hombre, desde la salud, la higiene o la alimentación al transporte, el vestido y la vivienda.

Desde el punto de vista industrial los polímeros se clasifican habitualmente en dos bloques: polímeros de uso general y polímeros de ingeniería. Además, aparte de esta clasificación se encuentran un conjunto de polímeros denominados de altas prestaciones, que poseen características técnicas extraordinarias, y que se producen en volúmenes pequeños para productos de alto valor añadido.

En esta lección comienzo repasando brevemente las aplicaciones más habituales y comunes, discutiendo a continuación algunas de las más relevantes desde el punto de vista tecnológico, tanto por su novedad como por sus implicaciones en el desarrollo humano a medio y largo plazo, que además se caracterizan por una escasa difusión pública.



Así, algunos ejemplos que se pueden citar en relación con el ámbito donde se utilizan los polímeros generales son:

- en *la construcción y la obra pública* en tuberías, pinturas e impermeabilizantes, revestimientos para el suelo, y espumas aislantes.
- en el *sector industrial* en todo tipo de piezas para bienes de consumo, carcasas, engranajes, correas, carrocerías, aislantes eléctricos y térmicos, y componentes eléctricos y electrónicos.
- en las *industrias de consumo* en envoltorios, juguetes, maletas, artículos deportivos, fibras para la elaboración de telas y todo tipo de artículos textiles, muebles, y bolsas.
- en la *industria agroalimentaria* en envase y embalaje.
- en *agricultura*, en tuberías para transporte de agua, riego y drenaje, acolchado de suelos, invernaderos de diversos tipos, y películas y láminas para ensilaje y construcción de embalses.
- en *aplicaciones en el ámbito de la higiene y la salud* en lentillas, lentes y monturas para gafas, todo tipo de bolsas especializadas, catéteres, jeringuillas, blísteres, bolsas de sangre y suero, sistemas adsorbentes como pañales, geles y champús.

En relación con los polímeros de ingeniería y con los especiales, he elegido algunos campos de aplicación en tecnologías actuales que ilustran la importancia de estos materiales.

Comienzo por la descripción de las fibras de altas prestaciones, que son fibras sintéticas con elevada resistencia mecánica y térmica, y hacen referencia a los polímeros que se hilan para la producción de fibra corta y monofilamento tanto para la elaboración de hilo como para su empleo en materiales compuestos.

Entre ellas se encuentran las fibras de aramida, carbono, PBI y PBO. En aras de la brevedad necesaria, comentaré como ejemplo las fibras de aramida. Se trata de poliamidas aromáticas con las que se producen fibras que poseen resistencia mecánica unas 7 veces superior a la del acero y densidad 5 veces inferior, y paralelamente una resistencia térmica y ante el fuego única. Con ellas se fabrican los trajes de bombero, los guantes de protección anti-corte, la ropa de protección en atmósferas complejas, etc. ¿Han visto ustedes a un piloto de fórmula 1 salir andando ante su coche en llamas? Su traje de *m*-aramida le salvó, sin duda, la vida. ¿Saben cuánto pesa el casco de este piloto y cuáles son sus especificaciones mínimas? Aproximadamente tiene una masa de un kg y ha de resistir, como mínimo, tanto el impacto de un

proyector a una velocidad de 500 km/h, como una llama directa y una temperatura de 800 °C durante 45 segundos. Está fabricado con un material compuesto de un polímero matriz, típicamente una resina epoxi, y varias fibras de refuerzo. Su precio oscila entre los 6.000 y los 18.000 euros, es el coste de la tecnología.

Un ejemplo ilustrativo de esta componente tecnológica, relacionada nuevamente con la multidisciplinariedad de esta ciencia, se encuentra en el polietileno de ultra-alto peso molecular. Producido con los monómeros con los que se prepara el polietileno general, el polímero más barato, se puede llegar a transformar en fibras o láminas con mayor resistencia que el acero. Una lámina de 0.05 mm puede detener una bala. El coste de la materia prima es el mismo, el del producto acabado unas 70 veces mayor. Eso sí, solamente dos empresas en el mundo son capaces de transformar en lámina este material. Las fibras tienen aplicación en protección balística, equipamiento anti-punción y anti-corte, y cordeles, redes y cuerdas para aplicaciones especiales, de alta demanda mecánica y química, por ejemplo en entornos marinos.

En el sector de la automoción, uno de los puntos de confluencia de los intereses de los fabricantes de automóviles y los clientes es el ahorro de combustible. Ésta es realmente la fuerza impulsora de la introducción de los materiales plásticos en

los vehículos, a pesar del incremento de coste. En números concretos, 50 kg menos en un coche medio dan lugar a un ahorro de combustible del 2 %. Así, por ejemplo, se fabrican parachoques, engranajes, correas, sistemas de amortiguación, deflectores aerodinámicos, revestimiento de interiores, asientos, guanteras y faros. El contenido en plásticos de los utilitarios es aproximadamente del 11 % en masa. Sin embargo, son los vehículos de alta gama los que indican de alguna forma la tendencia en el sector. Por ejemplo, los Mercedes Clase S actuales se fabrican con un 21,6 % de materiales poliméricos, frente al 18,5 % del modelo anterior, de 2012.

En cuanto a los retos en el sector, el aligeramiento de la masa de los vehículos pasa por su disminución en el motor y en la transmisión, en el chasis y en la carrocería. En relación a estos retos, es significativa la apuesta de otra de las empresas que fabrica vehículos de gama alta, BMW, que comercializa desde diciembre de 2013 coches con carrocería monocasco fabricada completamente con material compuesto de fibra de carbono, o plástico reforzado con fibra de carbono.

En aeronáutica, nuevamente el impulso al empleo de estos materiales avanzados procede de la necesidad de la reducción de masa, así como de otras mejoras relacionadas con la seguridad y con la disminución del ruido generado por las

aeronaves. La evolución de la utilización de materiales compuestos ha sido exponencial desde los años 80 del pasado siglo, alcanzándose el porcentaje del 50 % con el lanzamiento del Boeing 787 en 2011, apodado *Dreamliner*, que supuso un hito importante en relación con la tecnología aeronáutica y que además trajo consigo una disminución del consumo de combustible del 20 % y del ruido del 60 %. Un segundo hito lo protagonizó hace un año Airbus, con el primer vuelo de prueba, en junio de 2013, del A350 XWB, fabricado con un 53 % de materiales compuestos y que presenta un ahorro de combustible del 25 % en relación con su antecesor. La sustitución del clásico fuselaje metálico, así como otras estructuras, ha dado lugar a la reducción del acero utilizado hasta el 6 %. La próxima vez que suban a un avión moderno, piensen positivamente que es de plástico, toneladas de material compuesto al servicio de su seguridad.

Otro ámbito importante de aplicación es la de los biopolímeros en medicina. Un biopolímero es un material compatible biológicamente con seres vivos, independientemente de su origen natural, artificial o mixto, implantable en el cuerpo humano y que encuentra su uso en el reemplazo o reparación de tejidos naturales dañados, como huesos, dientes, piel, venas y arterias. Los biopolímeros se emplean de forma masiva en clínica, y se utilizan

- en *oftalmología*, como lentes de contacto e intraoculares
- en *cirugía cardiovascular*, como marcapasos, válvulas cardíacas e injertos vasculares
- en *cirugía plástica*, como prótesis de nariz, barbilla y de mama
- en *odontología*, como dientes y empastes
- en *cirugía general*, en suturas convencionales y reabsorbibles, así como en placas y tornillos asimismo reabsorbibles
- en *ortopedia*, como juntas y prótesis de articulaciones, y cementos óseos para la fijación de éstas
- y *auxiliarmente* como bolsas de sangre, catéteres, y especialmente en equipamiento y membranas para diálisis.

Además de éstos, hay otro grupo de polímeros con aplicaciones importantes en medicina, los hidrogeles. En general, presentan por su hidrofilia y su contenido en agua una excelente biocompatibilidad, por lo que se emplean, por ejemplo, como lentes de contacto, uréteres, tejidos blandos, conductos y partes del esófago, revestimiento de suturas, en cirugía intraocular en el suplemento y reemplazo del humor

vítreo, y en apósitos para la cura de heridas. Por otra parte, su utilización como andamiaje temporal en ingeniería de tejidos, donde las células pueden crecer, es muy importante. Además, este tipo de materiales también se emplean en la liberación controlada de fármacos.

En relación con las aplicaciones en la industria eléctrica y electrónica, una característica intrínseca a los polímeros es su excelente comportamiento como aislantes, inherente al enlace covalente que estructura los mismos. Por tanto, se emplean en la construcción y en la industria en el aislamiento de cables, cintas aislantes, o conexiones, por poner algunos ejemplos.

Uno de los aspectos tecnológicos más relevantes para la sociedad de la comunicación, en la que el papel de los polímeros como aislantes es indispensable, es el de la fabricación de circuitos integrados. En ellos, los materiales orgánicos tienen una función doble. Por una parte pasiva, como componente estructural y protección de estos circuitos. Y por otra parte doblemente activa, donde el primer papel implica un proceso de litografía positivo o negativo que permite ejecutar un patrón sobre el que se dispone el conjunto de transistores, diodos, condensadores y resistencias que conforman el dispositivo. El diseño de los polímeros reactivos es fundamental a la hora de conseguir la máxima integración. El segundo papel

activo radica en el aislamiento vertical y horizontal, entre las distintas capas, de los componentes conductores.

Tal como se ha comentado, los polímeros orgánicos son aislantes. Sin embargo, en el año 1977 se produjo un descubrimiento de enorme importancia en relación al polímero conjugado poliacetileno. La adición de pequeñas cantidades de yodo condujo a un incremento de la conductividad de diez órdenes de magnitud, transformando al conjunto en conductor, y dando lugar a una nueva área de estudio denominada metales sintéticos. Hoy en el día el potencial de los polímeros conjugados como conductores y semiconductores se asocia con la preparación de:

- tintas conductoras o semiconductoras
- dispositivos electrónicos flexibles
- sensores,
- y baterías recargables ligeras y flexibles.

Otra tecnología de interés es la de membranas. El tratamiento de agua y bebidas con membranas porosas permite la esterilización a temperatura ambiente, la clarificación de bebidas como zumos, vinos y cerveza, la separación de emulsiones, y la separación de suspensiones para la industria farmacéutica y alimentaria. La disminución del tamaño de poro da lugar a las membranas de ósmosis inversa, que se utilizan en la potabilización de agua de mar.



Respecto a las membranas porosas cabe destacar una aplicación relacionada con el confort de las prendas de vestir, donde membranas semipermeables con el tamaño de poro adecuado permiten la transpiración, dando lugar a tejidos impermeables y transpirables.

En el ámbito de las membranas para hemodiálisis, realmente el proceso consiste en la difusión de solutos y ultrafiltración de un fluido a través de una membrana semipermeable como las comentadas para otras aplicaciones, mimetizando el comportamiento del riñón.

Un proceso similar es el que se requiere para el funcionamiento de una pila de combustible, donde se produce energía eléctrica en condiciones suaves a partir de la alimentación del oxígeno e hidrógeno en caras opuestas de una membrana de intercambio protónico.

El transporte de gases y vapores a través de membranas densas poliméricas es otro ámbito de aplicación de la tecnología asociada al transporte selectivo a través de polímeros, en este caso densos, es decir, sin poros. En cuanto a los gases, membranas densas de polímeros de ingeniería permiten la separación de prácticamente cualquier mezcla, siendo de especial relevancia industrial la obtención de oxígeno y nitrógeno a partir del aire.

Finalizo esta sección dedicada a las aplicaciones con un comentario sobre el envasado de alimentos, que es uno de los ámbitos donde las membranas están teniendo más éxito, en el llamado envasado activo. El envase aportó originalmente la manejabilidad del alimento y una protección frente a golpes, vibraciones, cambios bruscos de temperatura y luz. Actualmente, además los filmes deben comportarse como materiales barrera típicos, con un transporte de gases adecuado, con lo que se consigue prolongar la vida útil de los alimentos, manteniendo durante más tiempo sus características nutricionales y organolépticas.

---

En otro orden de cosas, la educación, en todos los ámbitos del saber, y su acceso en condiciones de igualdad, es el factor fundamental de progreso y equidad. En este sentido, el desarrollo sostenible de las sociedades modernas se asienta en la producción de bienes tangibles o intangibles de alto valor añadido, así como en la reutilización y reciclado de los primeros. A su vez, éstos proceden de la innovación que tiene su base en la investigación y ésta paralelamente en la educación, que está relacionada tanto con el conocimiento en sí mismo como con el pensamiento crítico.

En el ámbito que nos ocupa, en 1940 se creó en Alemania el Instituto de Química Macromolecular, y en 1946 en EEUU el Instituto de Investigación en Polímeros. Estos Centros fueron pioneros en su enfoque docente e investigador en ciencia y tecnología de polímeros. Dos décadas después se crea en España el Instituto de Plásticos y Caucho, aunque todavía hoy no se cuenta con estudios universitarios especializados.

---

No se puede dictar una lección sobre este tema sin abordar los retos actuales de la ciencia, que considero se dividen en dos bloques, el primero relacionado con el impacto en el medio ambiente, y el segundo con su evolución en el marco general de la ciencia de materiales.

El éxito de los polímeros se debe a una conjunción de factores que incluyen un precio razonable en relación con su aplicación, una baja densidad, una gran versatilidad en la preparación de bienes con todo tipo de formas y disposiciones, así como una impresionante inercia química. Se trata, sin duda, de uno de los mayores casos de éxito científico y tecnológico, asociado al dominio de la materia. Por desgracia, como contrapartida, los polímeros dan lugar a residuos que además de ser visibles y perdurables en tierra, presentan un problema de contaminación, especialmente en el medio marino.

Este problema de contaminación asociado a su extenso uso es en menor medida técnico, y está fundamentalmente relacionado con aspectos sociales y culturales, políticos y, paralelamente, económicos. En general, proviene del empleo de bienes de uso único, específicamente en el envase y embalaje, y particularmente en el ámbito alimentario. Así, por ejemplo, la utilización de una bolsa de polietileno, o una bandeja alimentaria de poliestireno, supone un problema que se incrementa si el usuario no la separa, clasifica y dispone correctamente en los contenedores adecuados.

Las opciones tras la separación doméstica e industrial, seguida de la clasificación en plantas de tratamiento, son varias, entre las que se encuentran: la disposición en vertederos, el reciclado físico, la reutilización, la generación de energía por incineración o gasificación, y el reciclado químico.

Evidentemente, el traslado a vertederos es sencillo y barato, pero de un considerable impacto ambiental. La primera opción en el tratamiento de los residuos debe ser el reciclado. Hay que separar e identificar correctamente a los residuos, y molerlos y transformarlos en granza como materia prima para la elaboración de nuevos plásticos. En este ámbito, hay que resaltar como caso de éxito el reciclado de los envases de poli(tereftalato de etilenglicol) o PET, que suponen la mayoría de los envases de

uso alimentario y doméstico. El impulso político y el del propio sector han permitido que se recuperen el 57% de los envases plásticos, con los que se fabrica grana de PET para otro tipo de producto, como por ejemplo textil. Este éxito se ha producido además en un período corto de tiempo, en el que paralelamente se han dedicado recursos a la concienciación y educación ciudadana, dirigidos en gran parte a la juventud, con campañas de tanto éxito como “Da una nueva vida a los envases, 40 botellas de plástico = 1 forro polar”. La segunda opción lógica debe ser la reutilización de los residuos en otro ámbito, tras un reprocesado mecánico. Un ejemplo característico es el empleo de los neumáticos molidos en la elaboración de carreteras o en los suelos flexibles de parques infantiles. La incineración puede ser un proceso de apoyo para polímeros sin halógenos siempre que se recupere la energía y se traten correctamente los gases generados. Los materiales orgánicos proceden de recursos hidrocarbonados fósiles y, al igual que éstos, se pueden utilizar como combustibles. El reciclado químico también es viable técnicamente, y consiste en la despolimerización o craqueo que permite la obtención de productos químicos de utilidad industrial.

Alternativamente a todas estas técnicas está la preparación de polímeros degradables o biodegradables para la elaboración de bienes cuyo reciclado no es económicamente factible.

En general, el tratamiento de los residuos plásticos supone una oportunidad tecnológica. Además, ante la comparación con otro tipo de materiales hay que tener en cuenta el coste del tratamiento y valorización de los residuos pero también el de producción y transporte de los mismos. Es decir, un balance energético de ciclo completo, que generalmente no se realiza. En este sentido, la baja densidad de los polímeros, así como las bajas temperaturas y los sistemas eficientes de transformación juegan a su favor en un balance energético/económico global.

---

En relación con la evolución de esta ciencia en el futuro próximo, con sus perspectivas, se pueden inferir algunas líneas que abrirán nuevos campos de gran relevancia científico-tecnológica.

Así, considerando los polímeros como materias primas, hay un interés creciente en el empleo de biomasa para la obtención de monómeros con los que preparar polímeros.

Respecto a las aplicaciones específicas avanzadas, éstas requieren de un gran dominio de la materia en relación con el

binomio estructura química/propiedades. Algunos ejemplos de estas aplicaciones están relacionados con los desarrollos en nuevos biomateriales, sensores, fibras inteligentes, polímeros eficaces para electrónica flexible, y polímeros híbridos orgánico-inorgánicos poco explorados.

Otro ámbito general de desarrollo está relacionado con el menor consumo de energía, tanto en el transporte como en la construcción. Un campo en continua expansión en el sector de la construcción es el asociado a dicho ahorro, tanto por el comportamiento pasivo de los materiales, por el uso de aislantes más eficientes y duraderos, como por el comportamiento activo de éstos, como por ejemplo en la preparación de materiales de cambio de fase para el control de temperatura en edificaciones. En relación con el transporte, la tendencia general de uso de materiales plásticos está correlacionada con la disminución de masa como medida directa de ahorro de combustible. En el transporte marítimo, por ejemplo, uno de los retos planteados en la actualidad es la mejora de la antiadherencia de la pintura de los cascos de los barcos, que se estima que en los próximos años podría dar lugar a una disminución del 40 % de consumo de combustible.

Entre las técnicas de transformación también se están produciendo nuevos desarrollos que se vinculan con la

eficiencia energética, con la integración de los propios residuos de producción en los polímeros que se utilizan como materias primas y con la propia disminución en la generación de estos residuos. Además, en este ámbito es de destacar la irrupción de las técnicas de impresión 3D de polímeros que están llamadas a revolucionar tanto la producción industrial de piezas de plástico como la propia elaboración de éstas por el usuario en el hogar.

---

Como conclusión, podemos clasificar a nuestro entorno como “un mundo de plástico” en relación con la ubicuidad de los polímeros artificiales. Así, la irrupción de los polímeros como materiales en el siglo pasado ha supuesto una revolución en nuestra forma de vida, copando todos los ámbitos que afectan al ser humano, desde lo más cotidiano, como el embalaje, hasta la más alta tecnología relacionada con las comunicaciones, la medicina, la aeronáutica, o las fibras de seguridad e inteligentes, por poner algunos ejemplos. Este rápido desarrollo tecnológico ha generado asimismo problemas asociados a la mala disposición de los materiales que se fabrican con carácter desechable, dando lugar a una brecha entre el desarrollo científico-tecnológico y el sociopolítico. Este hecho supone, por otra parte, un reto en sí mismo y una oportunidad, tanto en el ámbito de la educación como en el científico, de cara a la



disminución de los residuos generados así como a su valorización.

Además, en el horizonte hay otra serie de oportunidades relacionadas con el diseño de nuevos materiales y la adaptación de los existentes a las nuevas tecnologías en relación: con la minimización del consumo de energía; con nuevos sistemas de regeneración tisular, nuevas medicinas y explotación de los medicamentos existentes mediante su transporte activo, anclaje y liberación controlada; con materiales inteligentes; con fibras de alto rendimiento para la elaboración de tejidos de protección; con materiales compuestos avanzados con función estructural; así como con materiales conductores y semiconductores para electrónica flexible.

En nuestras manos, como sociedad, está aprovechar estas oportunidades.

He dicho.