



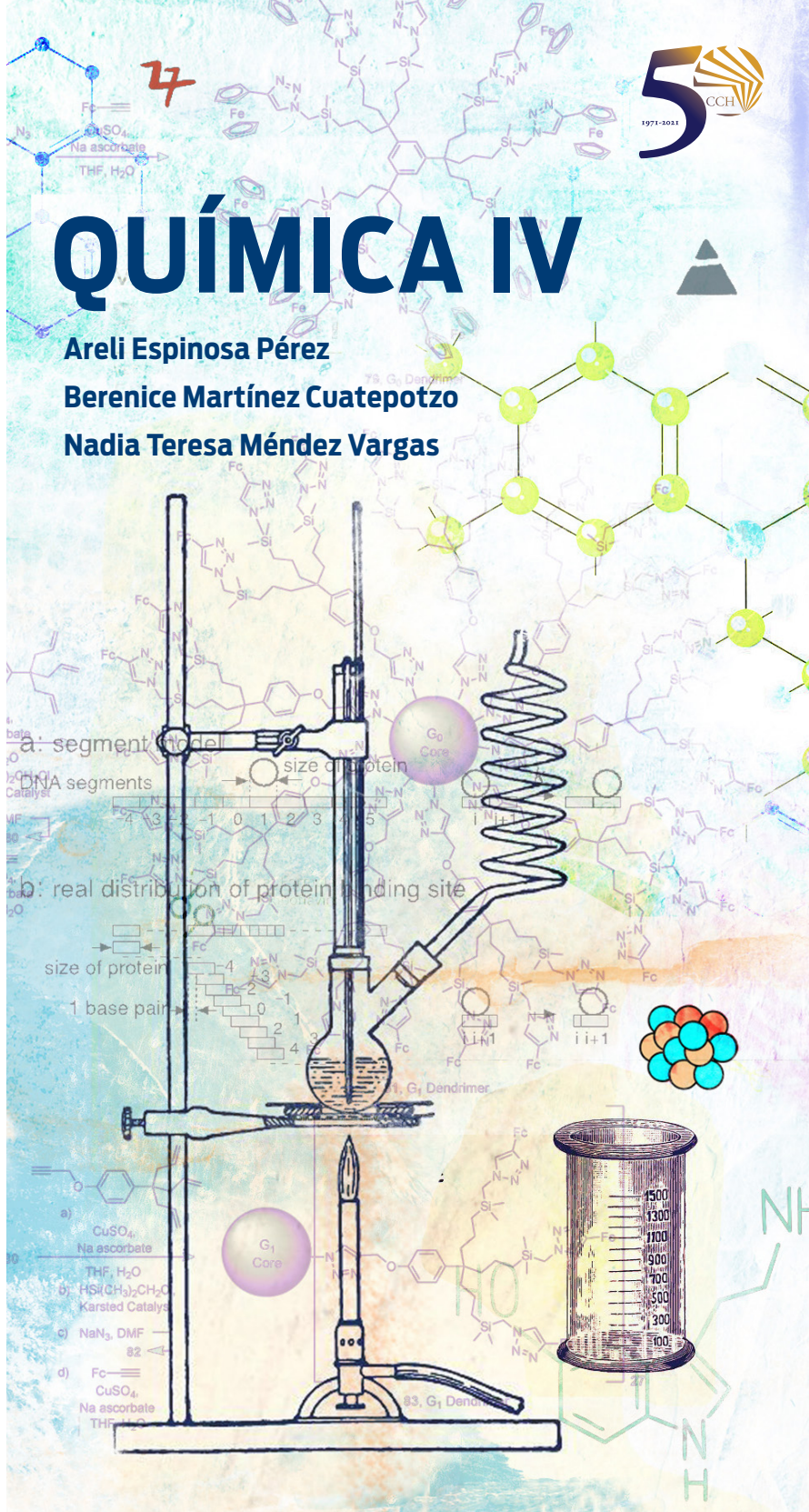
QUÍMICA IV

Areli Espinosa Pérez

Berenice Martínez Cuatpotzo

Nadia Teresa Méndez Vargas

ANTOLOGÍA



ANTOLOGÍA **QUÍMICA IV**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



QUÍMICA IV

ANTOLOGÍA

Areli Espinosa Pérez

Berenice Martínez Cuatepotzo

Nadia Teresa Méndez Vargas

Antología. Química IV

Primera edición: Octubre de 2021.

D.R. © Areli Espinosa Pérez

D.R. © Berenice Martínez Cuatепotzo

D.R. © Nadia Teresa Méndez Vargas

Diseño de la Colección: D.R. © Mario Palomera Torres

Diseño y formación de interiores: D.R. © Ma. Elena Pigenutt Galindo

ISBN: 978-607-30-5240-5

ISBN de la Colección: 978-607-30-5239-9

D.R. © UNAM 2021, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, CDMX.

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

Insurgentes Sur y Circuito Escolar, Ciudad Universitaria,

México, C.P. 04510, CDMX.

www.cch.unam.mx

Esta edición y sus características son propiedad
de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio,
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México - *Made in México.*

ÁREA CIENCIAS EXPERIMENTALES

Índice

Presentación	13
---------------------	-----------

Unidad I. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química	15
--	-----------

Lectura 1: La industria química en México. Historia, realidad y perspectiva	17
---	-----------

Lectura 2: La petroquímica en México y en el mundo	29
---	-----------

Lectura 3: Elemento con múltiples personalidades	36
---	-----------

Lectura 4: ¿Por qué no es probable una vida basada en el silicio?	44
--	-----------

Lectura 5: Es imposible verlos (los enlaces π), pero hacen posible que veamos: la química de la visión	53
--	-----------

Lectura 6: Grasas, dieta y salud	62
---	-----------

Lectura 7: Química del carbono. Propiedades químicas de alquenos	72
--	----

Lectura 8: Síntesis y regulación de compuestos del aroma y sabor derivados de la levadura en la cerveza: ésteres	82
--	----

Unidad II. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad	97
---	----

Lectura 9: Polímeros. Guía didáctica	99
---	----

Lectura 10: Polímeros, un mundo aparte	111
---	-----

Lectura 11: Polímeros	118
------------------------------	-----

Lectura 12: Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares	129
---	-----

Lectura 13: Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato	146
--	-----

Lectura 14: La casa de plástico y la casa del futuro. Aportaciones de la arquitectura de mediados del siglo xx a la construcción de materiales compuestos	157
--	-----

Lectura 15: Nuevas tendencias
en envases y empaques plásticos 172

Lectura 16: Biopolímeros: avances y perspectivas 184

Lectura 17: Aqua miente: la vida
en plástico no es tan fantástica 197

Presentación

La presente antología tiene el propósito de apoyar con material didáctico a los docentes que imparten la asignatura de Química IV. Atiende una necesidad, ya que en el año 2016 el Colegio aprobó las actualizaciones a los Programas de Estudio de Química I a la IV y por tanto se tienen pocos materiales disponibles.

La antología responde de manera indirecta a dos de las acciones propuestas en el Proyecto de Trabajo 2019-2020 del Colegio para garantizar un incremento en la acreditación de los alumnos que participan en el Programa de Apoyo al Egreso (PAE).

- “Elaboración o adecuación del material didáctico pertinente para cada asignatura y
- Actualización de los materiales impresos (pp. 22-23)”.

La asignatura de Química IV es propedéutica y contempla dos unidades contextualizadas en la industria petroquímica, la del petróleo y la de los polímeros; que son el pretexto perfecto para enseñar la química orgánica pero también para aprender sobre estos tópicos.

Todos los artículos y textos que integran la Antología están orientados para atender un aprendizaje del Programa; también hay artículos que atienden un mismo aprendizaje, esto permite al docente elegir el que sea más pertinente para su clase; todos cuentan con actividades sugeridas para el docente y los alumnos, que además están en función del contenido de los documentos. Se incluye una sección titulada "Nota para el profesor" en la que se hacen sugerencias para la implementación de las actividades propuestas, las cuales son flexibles para que, de acuerdo a las necesidades de cada profesor, las usen como se plantearon o realicen los ajustes que consideren pertinentes.

Como sugerencia general para los profesores, es necesario que acompañen a los estudiantes en todo el proceso de lectura y en el trabajo con las actividades a realizar, ya que aunque la mayoría son artículos de divulgación, es común encontrar conceptos o temas que no se han revisado en clase.

Unidad I

El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química



Lectura 1: La industria química en México. Historia, realidad y perspectiva

Ficha de referencia

La industria química en México. Historia, realidad y perspectiva, (2012) *Guía de la industria química*, Grupo Cosmos, p. LXXIX- LXXXVI.

Disponible en

<https://guiaquimica.mx/secciones/2012/la-industria-quimica-en-mexico>

Sinopsis

El artículo está dividido en dos partes; en la primera se presenta un panorama histórico que abarca de 1920 hasta 2009 sobre la evolución de la industria química mexicana que considera las primeras fábricas que surgen en el País, la importancia de la Facultad de Química de la UNAM y de

la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQUE) del Instituto Politécnico Nacional para consolidar la industria química nacional. La segunda parte expone los retos que debe enfrentar hoy dicha industria como la falta de vinculación entre las universidades con este sector; también señala algunos proyectos que están en puerta y que tienen la intención de innovar y competir mejor en el mercado mundial.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje 1. A1. (C, H, V) Reconoce la importancia del petróleo y sus derivados como fuente de productos e intermediarios al indagar información, expresar y argumentar sus ideas relacionadas con el aprovechamiento de este recurso (N1).

Justificación. El artículo atiende el propósito de la Unidad 1 que considera que el alumno valore el impacto económico y social de la industria del petróleo y en particular de la petroquímica

Descripción de la actividad

1. A partir del artículo los alumnos deben responder el siguiente cuestionario.

- a) Realiza una línea del tiempo con cada una de las fechas que señala el artículo y destaca el acontecimiento respectivo.
 - b) Al concluir la línea del tiempo, elabora una reflexión sobre la evolución y los acontecimientos en torno a la industria química.
 - c) Dentro de las perspectivas que señala el artículo hay tres proyectos. Investiga si se han llevado a cabo y de ser así, si se están cumpliendo las expectativas: tres nuevas plantas, cuatro expansiones y Etileno XXI.
 - d) Investiga en qué consiste el proyecto Etileno XXI y porqué ha sido tan controversial este tema en el año 2020.
2. Después de realizar el cuestionario, los alumnos deben formar parejas para compartir sus respuestas y mejorarlas.
 3. En plenaria se comentarán las respuestas y el profesor resaltará el impacto económico y social de la industria petroquímica.
 4. Se sugiere organizar un debate sobre dos posturas que son de interés nacional, por ejemplo:
 - a) ¿Es Petróleos Mexicanos (Pemex) una empresa en la que se deba seguir invirtiendo?
 - b) ¿Es Pemex una empresa obsoleta?

Nota para el profesor

Se sugiere que la actividad se realice como tarea a casa para

que los alumnos puedan realizar las pequeñas investigaciones de las preguntas 2 y 4, y que la actividad continúe en clase como trabajo entre pares o en equipo. Finalmente cerrar la actividad en plenaria con la guía del profesor.

La Industria Química en México. Historia, realidad y perspectiva

La Industria Química en México. Historia, realidad y perspectiva

Surgimiento de la Industria Paraquímica (1920-1940)

En nuestro país el despertar de la Industria Química comenzó después de la Revolución Mexicana, momento en el cual se desarrollaron las primeras plantas paraquímicas y se construyeron refinerías con capital extranjero.

Entre los años 20 y 40, se dio una proliferación de fábricas de Jabón, Papel y Resinas Artificiales derivadas de la Brea principalmente utilizadas para el tratamiento de Telas y Papel. La industria jabonera impulsó la refinación de la Glicerina e inició la hidrólisis de grasas, destacando empresas como Colgate-Palmolive, La luz, La Corona y Química Michoacana.

En esta época Beick-Félix-Stein fundó la primera fábrica de Ácido Sulfúrico en el país; al mismo tiempo se instaló la fábrica experimental de Fibra Artificial (Cupro-Rayón) que a la postre se convertiría en Celanese Mexicana, por mucho tiempo la empresa química más grande del país. Todo este avance en el desarrollo de la Industria Química conformó las bases para lo que sería el auge de la Industria del Plástico 15 años más tarde.

Educación

La educación formal de la química inició en nuestro país en 1916 con la fundación de la Escuela Nacional de Química Industrial (hoy Facultad de Química de la UNAM),

gracias a la iniciativa de Juan Salvador Agraz; la escuela estaba ubicada en un edificio en el pueblo de Tacuba, el cual fungió como sede durante casi 40 años.

Las primeras carreras que se impartieron fueron: químico industrial y peritos y prácticos industriales; sus egresados no fueron inmediatamente absorbidos por la industria nacional, debido a que se recurría a los técnicos extranjeros. Aún así, la escuela continuó creciendo y diez años después contaba con laboratorios especializados y una fábrica de Éter y Jabón.

En 1927 Estanislao Ramírez se incorporó a la Escuela, graduado en Inglaterra y con experiencia en Alemania y los E.U.A., impartió clases de la aún joven disciplina de ingeniería química. Para estos años, la Escuela aumentó su oferta educativa a: química industrial, ingeniería química, química fármaco-biológica y química metalúrgica.

En 1939, tres años después de la fundación del Instituto Politécnico Nacional (IPN), se autorizó la formación de las carreras de ingeniería química petrolera e ingeniería metalúrgica en la Institución. En 1945, debido nuevamente a las gestiones de Estanislao Ramírez, se abrió la carrera de ingeniería química industrial. Sin embargo, sería hasta 1948 cuando el Ing. Manuel Heisser Jiménez fundó la Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (ESIQUIE).

Otras tres instituciones que han tenido una gran relevancia en la enseñanza de carreras afines a la química son la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), la Universidad de Guadalajara (U de G) y la Universidad de Veracruz (UV) en varios campus.

Creación y consolidación de la Industria Química Inorgánica (1936-1968)

En la década de los años 30 comienzan a establecerse las primeras tecnologías para producción química inorgánica, la cual es generalmente la primera en desarrollarse debido a la relativa facilidad de sus reacciones.

La Industria Química Inorgánica nacional inició en 1938, con la construcción de la planta productora de Carbonato Sódico de la Compañía Industrial de los Reyes; desgraciadamente la mala calidad y baja producción de la planta provocaron su cierre al poco tiempo. Sin embargo, dicha iniciativa sentaría las bases para la creación de Sosa Texcoco en 1942, la cual se convertiría en la más importante industria de Alcalí de América Latina. Al mismo tiempo, Alkamex producía Sulfato de Aluminio y posteriormente Ácido Sulfúrico. De esta manera el país ya disponía de los componentes inorgánicos básicos.

Otro hito en la Industria Química nacional es la fundación de Syntex en 1944, que en sus días fue la más grande productora de hormonas sintéticas del mundo, su tecnología aprovechaba la disponibilidad de diferentes tipos de barbasco como materia prima para la

producción de la píldora anticonceptiva. En 1974, el gobierno aumentó fuertemente el precio de garantía de la materia prima, lo que generó que los productores buscaran otras fuentes de esteroides, provocando el colapso de esta industria farmaquímica en tan sólo tres años.

Expropiación Petrolera y otros catalizadores (1938-1941)

El 18 de marzo de 1938 se decreta la expropiación petrolera, la cual trajo consigo consecuencias muy importantes para el país y su Industria Química: por una parte la ruptura de relaciones diplomáticas con el Reino Unido, y un embargo comercial por parte de los Países Bajos y Estados Unidos; y por otra, la necesidad de operar refinerías en condiciones deplorables. Así, el país se vio obligado a producir compuestos que normalmente eran importados —en especial el Tetraetilo de Plomo—, y a modernizar y construir nuevas refinerías. Los recién egresados de la Escuela Nacional de Ciencias Químicas jugaron un papel fundamental en el impulso a la petroquímica, al implementar nuevas técnicas de producción; poco después se sumarían los egresados del IPN a la oferta de profesionales. Este escenario, daría frutos 20 años después con la fundación y desarrollo de la Industria Petroquímica nacional.

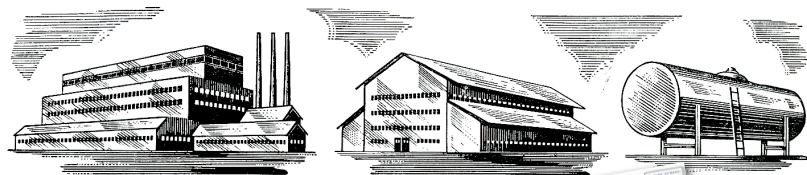
Otros factores ayudaron a consolidar la Industria Química en México: primero, el exilio español durante la guerra civil, provocó una gran migración de refugiados (aproximadamente unos 25,000), entre los cuales se encontraban intelectuales que se incorporaron a las universidades, y empresarios quienes fundaron empresas nacionales. Por otro lado, la Segunda Guerra Mundial causó la salida de especialistas extranjeros de nuestro país, dejando a los nacionales la responsabilidad de la administración y evolución de la industria. Asimismo, en 1941 los Aliados levantaron su embargo sobre el Petróleo mexicano debido a la fuerte escasez del energético, lo que aumentó la demanda de manera importante.

Fabricación en México de sales poco comunes (1951)

El inicio de los años 50 se caracterizó por la producción de sales poco comunes como: el Ascorbato de Quinina y algunas vitaminas del complejo B. Además se produjo: Sulfato de Amonio, Supersulfatos Simples, Sulfato de Sodio y de Cobre.

Entre las principales empresas estaban: Guanos y Fertilizantes en Tultitlán; la planta Sulfato de Viesca, una de las primeras plantas diseñadas y totalmente construidas en nuestro país; Bufete Industrial, la primera firma de ingeniería de proceso; Cobre de México; Azufre Panamericana y Cia. Azufre del Golfo.

En la rama de la farmaquímica destacan los Laboratorios Servet, Midy, Pyridina, Salicilatos de México,



Fernisa Quinonas de México, los cuales permitieron que México pudiera exportar compuestos semi-sintéticos.

Revista Ingeniería Química

En 1956 nació la revista Ingeniería Química, publicada mensualmente por la Editorial Cosmos, siendo los editores: Cesar Macazaga y Gilberto Fabila. La revista surgió como una publicación técnica para las industrias químicas, cuyo objetivo era informar sobre las aplicaciones, ventajas y desventajas de dispositivos, técnicas y herramientas.

Nacimiento de la Petroquímica (1956)

La Industria Petroquímica nacional nació en 1956 con el inicio de la producción de Azufre por parte de PEMEX y con el arranque de la primera unidad de Dodecilbenzeno (DDB), para usarse en detergentes. En los años posteriores, la Industria Petroquímica creció a un ritmo acelerado. A finales de 1958 se promulgó la ley que reforma el artículo 27 de la constitución, restringiendo a los inversionistas extranjeros su participación en esta industria.

Crecimiento acelerado de la Petroquímica (1959-1985)

En 1959 se estableció un sistema de permisos de producción o distribución de petroquímicos para empresas nacionales privadas, con el supuesto objetivo de satisfacer la demanda interna de los productos exclusivos de PEMEX, pero acabó siendo un mecanismo para regular a los inversionistas extranjeros y para otorgar permisos a inversionistas nacionales, ampliándoles el margen de acción para productos determinados. Se generó entonces, una economía muy protegida, con proliferación de pequeñas industrias, muchas de ellas sin conocimiento del mercado y poco competitivas. Muy pocas de éstas sobrevivieron a la apertura económica de 1985. A pesar de lo anterior, también se desarrollaron industrias con buena visión de mercado y altamente competitivas, pero sin tecnología de punta.

El régimen de permisos comenzó en 1961, con la producción de Negro de Humo por parte de Negromex.

PEMEX inició sus plantas de Acetileno, Polietileno y Cloruro de Vinilo en su primer complejo petroquímico en Pajaritos, Veracruz. A la par, nació la empresa Fertilizantes del Istmo, productora de Nitrato de Amonio, Ácido Nítrico y Fosfato Diamónico.

En esta misma época, como un anexo a la revista Ingeniería Química, se publicó por primera vez la Guía de la Industria Química (1958), cuyo objetivo continúa siendo ofrecer al medio químico una referencia confiable para facilitar la comunicación y el contacto rápido entre la oferta y la demanda, y sostener así el avance de la industria.

Incorporación de las primeras unidades de escala mundial (década de los años 70)

En la década de los años 70 se dio un fuerte crecimiento de la industria de los polímeros, impulsado principalmente por las empresas Petrocel y Tereftalatos Mexicanos, las que instalaron plantas de producción destinadas a abastecer al mercado nacional y extranjero, lo que las sitúa como las primeras unidades de escala mundial en México. Estas producían: Tereftalatos, Etilenglicol, Fenol, Acetona y Ésteres Acrílicos.

Otra área de la Industria Química en territorio nacional que ha crecido desde los años 60, a pesar de los embates de la economía y la apertura comercial, es la de los colorantes sintéticos. Las empresas que destacan son: Bayer, BASF Mexicana, Dupont, Hoechst y Pyosa.

Después de la crisis del petróleo de la década de los años 70, en 1981 se buscó generar un nuevo impulso para la Industria Petroquímica; el gobierno federal creó estímulos fiscales enfocados a construir instalaciones modernas de PEMEX que, a pesar del colapso económico de 1982 y la subsecuente crisis (1983-1987), dio como resultado los complejos de Cangrejera y Morelos.





A partir de esa época inició la desaceleración del desarrollo químico y petroquímico en México. La industria estaba básicamente constituida, con grandes productores posicionados, y con un entorno nacional que empezaba a ser incierto. Los cambios rápidos que se suscitaron a nivel nacional e internacional en las décadas siguientes, rompieron el ritmo con el cual se venía desarrollando la industria.

Colapso financiero y crisis Petroquímica (1982-1983)

En 1982 ocurrió la crisis de la deuda latinoamericana, la cual se generó durante los años 70, cuando los países latinoamericanos, principalmente Argentina, Brasil y México, obtuvieron grandes sumas de dinero de acreedores internacionales con el objetivo de industrializarse. Para 1975, esta deuda llegó a sumar 75 mil millones de dólares, y en sólo ocho años pasó a 7,315 mil millones de dólares, debido a una tasa de interés acumulativa anual del 20.4%.

En 1982 México se declaró insolvente y anunció una moratoria de 90 días para el cumplimiento de sus pagos. Esto detonó que los bancos detuvieran o disminuyeran la entrega de nuevos préstamos a América Latina, provocando la crisis económica más grave de la región: los ingresos se desplomaron, el crecimiento económico se estancó, aumentó el desempleo y la inflación redujo el poder adquisitivo de la clase media.

La crisis provocó la reconfiguración de las industrias nacionales, las cuales dejaron de tener como prioridad el consumo interno, y se dedicaron a la industrialización orientada a las exportaciones. Esta estrategia originó la desaparición de productos que no eran competitivos en los mercados internacionales.

Algunos sectores de la industria fueron menos afectados que otros. Por ejemplo, el sector farmoquímico se logró mantener, no sin muchos esfuerzos; para 1984 Fernisa produjo eficientemente Penicilina G, y Fermic produjo Griseofulvina en la ciudad de México.

México, apertura y acuerdos comerciales (1985-1994)

Otros factores que presionaron el mercado nacional fueron: la entrada de México en 1985 al GATT (Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio, por sus siglas en inglés), pacto que antecede a la Organización Mundial de Comercio (OMC), cuyo objetivo fue eliminar las barreras comerciales y reducir los aranceles. Años más tarde, en 1991 comenzaron las negociaciones entre los gobiernos de México, Canadá y E.U.A. con el objetivo implementar el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN o NAFTA por sus siglas en inglés), que entró en vigor en 1994.

Con los tratados del GATT y TLCAN, México pasó de tener un mercado protegido, a un mercado de libre flujo de productos, en menos de una década; esto provocó que en muchas ocasiones existiera competencia desequilibrada entre las empresas nacionales y extranjeras. Las nuevas condiciones de mercado produjeron el cierre de muchas empresas, otras se fusionaron o fueron absorbidas por las compañías transnacionales. La Industria Química, que depende en su gran mayoría de la petroquímica, fue una de las más afectadas.

Crisis de la Industria Química y manejo de recursos energéticos (1989-2009)

La Industria Química es altamente demandante de energía, pues los tabiques básicos de la mayor parte de los productos del sector, provienen del Petróleo o el Gas Natural, además utiliza este insumo como fuente primaria de energía para sus procesos. A nivel mundial, las actividades industriales consumen la mitad de la energía total entregada (descontando las pérdidas por producción de energía eléctrica). La Industria Química es responsable del 22% de la energía consumida industrialmente, esto es, 11% de la energía total entregada anualmente, lo que la sitúa como la mayor consumidora de energéticos.

Toda vez que el manejo de energéticos a nivel nacional ha sido bajo una política de control estatal, las posibilidades de desarrollo independiente de una Industria Química, han estado supeditadas al manejo estratégico de los recursos por parte del gobierno, y de los permisos de producción petroquímica que otorgó a diferentes empresas.

Las cadenas productivas que en términos técnicos debían estar integradas, dado el manejo político de "petroquímicos básicos", se encontraban (y se encuentran) desintegradas. Por ejemplo, las cadenas de Amoniaco/Urea, Cloro/Cloruro de Vinilo/PVC, Acilonitrilo/Acetocianhidrina/Acrílicos, Etileno/Oxido de Etileno/Etoxilados, no están articuladas debido a la imposibilidad legal de la industria privada de participar en una parte de la cadena, y al impedimento técnico de la industria paraestatal de participar en la otra parte de la cadena.

Con la compra de empresas nacionales por parte de capital transnacional, las decisiones se empezaron a tomar de manera central y corporativa en otras partes del mundo. La producción se concentró en regiones y países que ofrecían las mejores condiciones, y cuyas posibilidades de integración eran superiores a las disponibles en México. Es así que, mientras que en el año de 1989 estaban en operación 448 grandes plantas, incluyendo las petroquímicas de PEMEX, para 2009 operaban 322 plantas.

Estas condiciones del mercado ocasionaron que se dejaran de producir muchos productos en nuestro país, lo que aumentó las importaciones. No obstante también aumentaron las exportaciones; México perdió autosuficiencia, pasó de 92.3% a 58.3% de 1989 al

2009. De esta manera, la Industria Química nacional ha disminuido drásticamente su participación en el PIB, de un 6.2% en 1989, hasta un 1.7% en 2009 (Figura 1). Mientras que en el mismo periodo el PIB per cápita a pesos constantes ha crecido 85.1%, el valor de la producción de químicos per cápita a pesos constantes ha decrecido 43.5%.

Otros datos como: la balanza, las exportaciones y las ventas, son indicadores de que la Industria Química mexicana ha dejado de ser competitiva. Sobre estos temas hacemos un análisis en el texto La Industria Química Mexicana en Números (pág. LXXXVII).

La incorporación de internet en el mundo de los negocios.

El hito de 1995

El internet surge como una herramienta militar en la década de los años 60, su intención era formar una infraestructura de redes de cómputo capaz de soportar la pérdida de una de sus partes, sin que eso afectara a las demás; el nombre del proyecto era ARPAnet (*Advanced Research Projects Agency*). Para 1970 cuatro universidades estaban conectadas entre sí, y en 1990 internet ya estaba a disposición comercial con 159,000 computadoras.

Pero el verdadero comienzo de internet en el mundo de los negocios fue en 1995, cuando compañías como Netscape (el primer navegador), Yahoo! (el primer buscador en ser utilizado masivamente), y NIC México empiezan operaciones formalmente; en este año surge también COSMOS Online® www.cosmos.com.mx, el primer portal industrial y de negocios, permitiendo que los usuarios encontrarán información de interés de manera fácil y eficaz, incluyendo la localización de empresas de acuerdo a la actividad industrial.

En aquel entonces nuestra empresa ya sabía que el internet sería una herramienta no equiparable con ninguna anterior, que su capacidad de conectar a personas en todo el mundo, la rapidez de enlazar empresas y la cantidad de información que sería capaz de manejar, cambiarían la forma de hacer negocios.

Lo que en esos momentos era sólo una visión, hoy es una realidad. Tanto la Industria Química como otras, han aprovechado la plataforma para: difundir su imagen corporativa, cerrar negocios en diversas partes del mundo, localizar proveedores y socios, conocer a sus clientes, entre otras actividades esenciales; el internet se volvió así un hito en las actividades empresariales.

Principales retos de la Industria Química

Para activar la Industria Química nacional, hace falta unir esfuerzos y reconstruir las cadenas productivas,



Figura 1. Panorama general de la Industria Química Mexicana.

	1989	2009
Producción (millones de pesos)	315,519	225,292
Exportación (millones de pesos)	44,439	108,073
Importación (millones de pesos)	70,514	269,437
Consumo aparente (millones de pesos)	341,594	386,656
Consumo per Cápita (millones de pesos)	4,047	3,624
Autosuficiencia	92.3%	58.3%
Participación del PIB	6.2%	1.7%
Número de Plantas	448	332
Número de Productores	201	73
Número de Productos (excepto PEMEX)	114	64

Pesos de 2003

Fuente: Elaboración propia con datos de ANIQ, INEGI, Conapo y Secretaría de Economía

pero sobre todo, hace falta elevar el contenido tecnológico de los productos y servicios que se ofrecen. Los productos químicos de manufactura exclusiva del estado (llamados primarios), se redujeron de 34 a 19, y después terminaron en 9. Los petroquímicos básicos se redujeron de 800 a 66, para posteriormente desaparecer como figura en la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional del Ramo del Petróleo. Sin embargo, para reconstruir la Industria Petroquímica y Química nacional hace falta mucho más que sólo facultar legalmente a la industria privada para que produzca.

Es así que en los últimos años, la Industria Química en México se ha convertido en una gran maquiladora, la gran mayoría de las empresas funcionan con patentes adquiridas en el extranjero (sólo 3.2% de las patentes otorgadas en la clase de Química y Metalurgia, son de titulares mexicanos), esto ha detenido en gran medida la capacidad de innovar, la competitividad, y el desarrollo. Al mismo tiempo, falta una vinculación efectiva entre las Universidades y los Centros de Investigación, con el sector productivo.

Además de los desafíos del pasado, algunos de ellos ya superados con los grandes esfuerzos de los profesionales de la Industria Química (ver artículo: El pilar de la Industria Química, (pág. CXIX), se han sumado otros retos como: el cambio climático, que impone nuevas condiciones de mercado a la empresas que generan gases de efecto invernadero; la pérdida

de biodiversidad, que con lleva a la reducción de fuentes de materias primas naturales, muchas de ellas todavía sin conocer; la contaminación de suelos, cuerpos de agua, mantos acuíferos y la atmósfera, que obliga a la Industria Química a buscar procesos más limpios, con normativas mucho más exigentes.

Buenas perspectivas para la Industria Química en México ¿la luz al final del túnel?

Si bien la realidad que ha vivido la Industria Química nacional en los últimos 20 años no ha sido muy satisfactoria, parecen haber perspectivas de recuperación a mediano plazo.

En México se tienen planeadas tres nuevas plantas (Figura 2), y cuatro expansiones importantes a algunas ya existentes (Figura 3).

Adicionalmente está en marcha el proyecto Etileno XXI, que aprovechará el suministro de Etano de PEMEX para la posterior producción de Etileno, Polietileno de Alta Densidad (750,000 ton/año), de Baja Densidad (300,000 ton/año), Polipropileno y otros derivados, por parte de un consorcio (*joint venture*) formado por Braskem (65%) e IDESA (35%). Este proyecto compromete el suministro de Etano por 20 años, con una fecha de arranque programada al 2015.

Todos estos proyectos buscan dar un nuevo impulso a la Industria Petroquímica de México, aprovechando el abasto de Etano, hacia productos de mayor valor agregado. La integración vertical descendente, expansión de las bases de cooperación entre la paraestatal, y las compañías privadas. Toda vez que casi el 26% de los productos químicos que se producen en México, son petroquímicos, esta nueva realidad parece sentar las bases para una recuperación importante.

Por su parte la rama de preparaciones farmacéuticas mantiene ventas superiores a los 100,000 millones de pesos al año, lo que representa más del 15% del sector químico. Siendo la segunda rama en importancia, su mantenimiento y crecimiento puede significar una oportunidad para el desarrollo de nichos de alto valor agregado, pero para ello requiere de capitalizar esfuerzos en Investigación y Desarrollo (I+D).

Los esfuerzos de la Industria Química mexicana pueden ser mejor aprovechados cuando se conoce el entorno mundial en el que se sitúa; es decir, cuando se entienden las tendencias, las ventajas, desventajas

Figura 2. Nuevas plantas.

Empresa	Planta	Producto	Capacidad ton/año	Año de arranque
Mexichem		PVC	460,000	2014
Pemex Petroquímica	Morelos	Óxido de Etileno	300,000	2014
Pemex Petroquímica	Morelos	Etilenglicol	400,000	2014

Fuente: Elaboración propia con datos de ICIS.

y estrategias de los bloques mundiales en la materia. Conocer por ejemplo, las estimaciones futuras de producción de Petróleo en medio oriente o la oferta y demanda de productos estratégicos en Asia, permitirá a la industria nacional tomar decisiones acordes y aumentar las posibilidades de éxito en sus estrategias, bien sea en la producción, exportación, desarrollo o distribución de productos químicos. Para ahondar en este tema en la Guía de la Industria Química hemos preparado el artículo Tendencias de la Industria Petroquímica en el mundo: La posición de los grandes bloques al 2012 (pág. XCIV).

Oportunidades para la Industria Química PyME en México

Los *commodities* (productos genéricos) químicos, son producidos a nivel mundial por aquellas compañías que tienen el tamaño y capacidad para competir en economías de escala. Con esta realidad como punto de partida, la Industria Química PyME en México debe considerar como estrategia la producción de químicos finos para la proveeduría a diferentes nichos de mercado, en conjunto con una **oferta que aporte un valor hacia la comercialización o distribución**, por ejemplo, a través de asesoría técnica o apareamiento de la cadena de valor con prácticas de calidad.

Ello sólo será posible si se reconoce la **necesidad de innovación y renovación de los productos**; si se eleva el contenido tecnológico, la capacidad de gestión y la apropiación tecnológica de las empresas que producen químicos; con un adecuado manejo de productos e identificación de riesgos; te recomendamos leer el artículo sobre este tema que publicamos en la página CVIII.

Para eso el país cuenta con diferentes fortalezas que han de ser capitalizadas hacia la planta productiva:

- Excelente capacidad de investigación concentrada en centros públicos y privados
- Personal capacitado, sobre todo en las áreas de ingeniería y gestión
- Políticas públicas de apoyo a la innovación y la vinculación
- Capitales privados dispuestos a invertir en ciencia y tecnología, en cadenas globales de valor instaladas en el país y en sectores específicos con potencial de crecimiento

México actualmente lidera un esfuerzo por reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a nivel mundial. En cuanto a otros desechos industriales, las normas mexicanas suelen ser más laxas que las de países altamente industrializados. Siendo uno de los 12 países megadiversos, y con zonas de vulnerabilidad importantes, el desarrollo de la llamada "Química Verde" es, además de una enorme oportunidad de mercado, un compromiso de responsabilidad social y ambiental integral; seguramente una fuente de competitividad y de ventaja futura.

Valores agregados en la Industria Química PyME en México

De manera general, un valor agregado es todo aquello que la empresa ofrece diferente a la competencia, que un cliente aprecia y por lo que está dispuesto a pagar un sobreprecio. En todos los sectores industriales existen condiciones mínimas que se requieren para entrar en el juego, llamadas "condiciones de mercado", aquello que excede la condición de mercado y que el cliente aprecia, representa el distintivo que una empresa ofrece sobre de otra.

Dentro de la Industria Química, a nivel internacional, los valores agregados más frecuentes son: productos hechos a la medida, tanto de formulaciones, como de moléculas nuevas; cadenas de valor integradas, vertical y horizontalmente, incluyendo sistemas robustos de CRM (*Customer Relationship Management*), abasto planta-planta; certificaciones, sellos y sistemas de calidad, acreditaciones para el caso de laboratorios de pruebas que prestan servicio a la industria; tiempos de entrega cortos; disponibilidad; asesoría técnica y servicios especializados; y cobertura territorial.

Según un estudio propio en medios de comunicación industrial en México, hay una diferencia en los valores agregados que una empresa transmite, entre las compañías que atacan a un gran mercado con productos genéricos, y las que atienden a un nicho especializado:

Dentro de quienes manejan *commodities*, los valores agregados son: reputación; posicionamiento de marca; capacidad de distribución y abastecimiento;

Figura 3. Expansiones a plantas.

Empresa	Planta	Producto	Expansión ton/año	Capacidad ton/año	Año de arranque
Pemex Petroquímica	Morelos	Etileno	250,000	900,000	2014
Pemex Petroquímica	Morelos	Óxido de Etileno purificado	80,000	360,000	2014
Pemex Petroquímica / Mexichem	Pajaritos	Cloruro de Vinilo (monómero)	175,000	405,000	2014
Mitsui Chemicals	Aguascalientes	Polipropileno	13,000		2012

Fuente: Elaboración propia con datos de ICIS.

contar con laboratorios de desarrollo; segmentación de mercado adecuada para diferenciar necesidades; sellos de calidad y certificaciones; además de flexibilidad productiva.

Por otro lado, las compañías que tienen un enfoque de nicho, transmiten al mercado: asistencia técnica; compromiso con el cliente; disponibilidad de inventarios; atención y servicio al usuario; precios competitivos; certificaciones y calidad; innovación y mejora continua; y desarrollo de formulaciones a la medida.

Desarrollo e innovación

Imposible significa que no se ha encontrado todavía una solución suficientemente innovadora

Scott Thorpe

El gran reto de la innovación en la Industria Química no puede ser enfrentado de manera unilateral, se requiere enfocar el problema desde diferentes ángulos y proponer soluciones concebidas desde la multidisciplinariedad, por ello en la Guía de la Industria® Química nos hemos esforzado por realizar eventos donde la empresa se contacte directamente con la Academia, para que de esta forma exista un espacio donde los requerimientos de la industria puedan ser escuchados y atendidos por grupos de investigación (pág. CXXV).

Un ejemplo de ello es el "Ciclo de Conferencias Guía de la Industria® Química" realizado en conjunto con la UNAM. En este marco se estableció que la innovación debe ser entendida como un proceso en el cual se identifican las piezas correctas de la tecnología, que cuando se implementan de manera satisfactoria a las necesidades correctas del mercado, transforman ideas innovadoras en negocios rentables. Es así que hay tres elementos que confluyen para que se dé una innovación: Tecnología, Implementación y Mercado. Con base en lo anterior se puede decir que:

- No es tan importante dónde comienza la innovación
- Debe existir una dinámica de integración continua

- Reconocer que la innovación la realizan las personas y no las instituciones, por ello brindar confianza en el grupo de trabajo es esencial, permitiendo así la creatividad y proactividad

Para que exista innovación, sea cual sea el ramo industrial, se requiere:

- Encontrar y poner en contacto a las personas clave
- Habilitarlas con acceso a información y permitir que la compartan
- Otorgar capacidad de decisión
- Brindarles acceso financiero

Es de vital importancia dejar de ver a la innovación como un proceso lineal, y comenzar a verla como un proceso que se basa en la retroalimentación entre el mercado y las personas que conocen el día a día de las actividades de la empresa. Es también esencial generar grupos multidisciplinarios de trabajo, crear instalaciones adecuadas y diseñar herramientas para compartir y producir conocimiento, incorporarse a redes globales y fomentar oportunidades de cooperación científica y tecnológica.

Para el caso específico de la Industria Química, se plantea una importante consideración: situar a la química como la ciencia impulsora de varias otras industrias con un potencial de constante crecimiento y altas rentas. Este potencial debe ser considerado siempre en los planes de innovación, y tener en mente áreas como la biotecnología, la nanotecnología, la bioquímica y los nuevos materiales.

En un mundo en el que las especialidades químicas tienden a volverse *commodities*, la innovación es la única vía para evitar la obsolescencia. Para tener una verdadera opción de competir en un entorno complejo, global y acelerado, hace falta tener y ejecutar una estrategia que logre verdaderamente capitalizar el valor de una empresa en el mercado, proponiendo seriamente una diferenciación que tienda a incrementar con cada interacción y con cada cliente. Invertir en desarrollo tecnológico e innovación es, más que nunca, una vocación y una prioridad para los empresarios del universo químico en México. ☒

Lectura 2: La petroquímica en México y en el mundo

Ficha de referencia

Góngora, P. J. P. (2012). La petroquímica en México y en el mundo. *Revistas Bancomext*. 139, p. 10-13.

Disponible en

http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/139/2/RCE_MZO-ABR_2012_La_petroqu%C3%ADmica.pdf

Sinopsis

El artículo presenta generalidades de la petroquímica en México comenzando por su importancia y su nacimiento en el año de 1938. También describe la crisis que vivió esta industria en el año 1982 y las acciones que implementó el Estado para hacerles frente. Muestra el panorama de la petroquímica en el siglo XXI y los retos que enfrenta con relación a la competitividad de las naciones asiáticas.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: A1. (C, H, V) Reconoce la importancia del petróleo y sus derivados como fuente de productos e intermediarios al indagar información, expresar y argumentar sus ideas relacionadas con el aprovechamiento de este recurso (N1).

Justificación. El artículo atiende el propósito de la Unidad 1 que considera que el alumno valore el impacto económico y social de la industria del petróleo y en particular de la petroquímica.

Descripción de la actividad

1. Con base en el artículo los alumnos deben responder el siguiente cuestionario:
 - a) ¿Cuál es la importancia de Pemex para el país?
 - b) ¿Cuál es la función primordial de la industria petroquímica?
 - c) ¿Qué acontecimientos históricos con relación a la petroquímica se suscitan en los años 1938, 1959 y 1982?
 - d) ¿Qué tipo de petroquímica se privatizó en 1982?
 - e) Emite una opinión sobre los siguientes datos que proporciona el artículo: En el año 2008 “México es el 7°

productor mundial de petróleo y es el 9º importador de productos derivados del petróleo”.

- f) ¿Cómo explicas que las naciones asiáticas hayan aumentado su competitividad con respecto a la producción del petróleo en México?
- g) De acuerdo al artículo, ¿qué propones para que México sea competitivo como lo son los asiáticos?

- 2. Después de responder las respuestas, los alumnos deben formar parejas para compartirlas y mejorarlas.
- 3. En plenaria comentarán las respuestas y el profesor resaltará el impacto económico y social de la industria petroquímica.

Nota para el profesor

Se sugiere que el cuestionario lo contesten como tarea a casa en forma individual y ya en clase que compartan con otro compañero sus respuestas para realimentarlas. Realizar en plenaria la revisión de las respuestas.

La petroquímica en México y en el mundo

Juan Pablo Góngora Pérez

Después de la segunda guerra mundial la industria que se desarrolló alrededor del petróleo inició un crecimiento que ha llevado a este sector a ser uno de los más importantes motores económicos en el mundo y, por supuesto, a ser una importante fuente de recursos para aquellos países que cuentan con los medios para transformar esta materia prima. En este sentido, México es una de las naciones que debe preocuparse por el futuro de la industria petroquímica, dada la trascendencia de la producción de petróleo para el país.

los mercados, la evolución tecnológica y, sobre todo, el alza de los precios del petróleo y el aumento de la demanda mundial de crudo, especialmente por parte de China e India,² han incrementado la competitividad de la industria. Esta situación puede ser muy bien aprovechada por México, siempre que cuente con la capacidad suficiente de agregar valor a los hidrocarburos.

La función primordial de la industria petroquímica es transformar la materia prima derivada de la extracción del

electrónica, la de construcción, la de plásticos, la farmacéutica, la química, la de fertilizantes, entre otras. Por ello, es indudable que la petroquímica está muy ligada con toda la industria y que cualquier decisión o acontecimiento en torno a ella afectará el futuro de la economía nacional. En consecuencia, es imprescindible que esta industria sea fortalecida y pueda abastecer con oportunidad a la totalidad de la industria nacional de los insumos que se requieren para su desarrollo.

Cabe recordar que la actividad petroquímica en México tiene su origen desde la expropiación petrolera, en 1938; en 1959 nace la primera planta petroquímica. Aunque, en realidad, fue el modelo de sustitución de importaciones derivado de la segunda guerra mundial lo que permitió el establecimiento de plantas petroquímicas con el fin de aumentar la producción de fertilizantes y otras materias primas de uso industrial. En este

CUADRO 1. PRINCIPALES CADENAS PRODUCTIVAS DE LA INDUSTRIA PETROQUÍMICA					
	Materias primas	Petroquímicos básicos	Intermedios	Finales	Aplicaciones
Gas natural	Metano, líquidos del gas natural, etano, propano, butano y condensados	Metanol, Etileno, propileno, butadieno y butileno	Urea, óxido de etileno MCV, dicloroetano, acrilonitrilo, estilbenceno, estireno, ciclohexano, caprolactama, TPA, DMT, ácido acético y otros.	Resinas, plásticos, fibras, elastómeros, solventes, termoseteadores, adhesivos, recubrimientos, pesticidas, fertilizantes, farmacéuticos y otros.	Alimentos, agricultura, construcción, transporte, muebles, recubrimientos, textil, adhesivos, medicinas, cosméticos y otros.
Petróleo crudo	Gas de refinería	Benceno, y tolueno xileno			
	Nafta Gasóleo				

Fuente: Pemex, Dirección General de Información y Estudios Energéticos, 2008.

En el caso de México, el recurso petrolero se encuentra bajo el control de Petróleos Mexicanos (Pemex), empresa paraestatal que aporta cerca de 40% de los ingresos del gobierno federal. Además, Pemex, es proveedor de divisas para las reservas del Banco de México y para el servicio de la deuda externa; y contribuye a la fortaleza del peso mexicano, dándole estabilidad, para dificultar la existencia de crisis cambiarias.¹ La apertura de

petróleo, incluido el gas natural, e incorporarla en diversas cadenas productivas de productos denominados *básicos* y *no básicos*. Los productos finales que se pueden obtener a partir del petróleo son innumerables. En otras palabras, la industria petroquímica domina la mayor parte de la producción de químicos y es el primer eslabón de cadenas productivas tan importantes como la textil, la automotriz, la

¹ David Ibarra, "Reforma energética: decidiendo el futuro de México", *Economía UNAM*, 2008, pp. 29-37.

² Mientras China continúe registrando tasas de crecimiento de 8% se mantendrá a la cabeza de la economía mundial y de la demanda de productos petroquímicos; su consumo continúa en aumento en virtud del incremento de las industrias de la construcción, el embalaje, textil, automotriz, de los bienes de consumo y electrónica. Este aumento de la demanda petroquímica de China incluso puede neutralizar la caída de la demanda de Estados Unidos y Europa derivada de la recesión económica que experimentan ambas regiones. Véase: GBI Research, *Top Ten Trends in the Petrochemical Industry in 2011*.

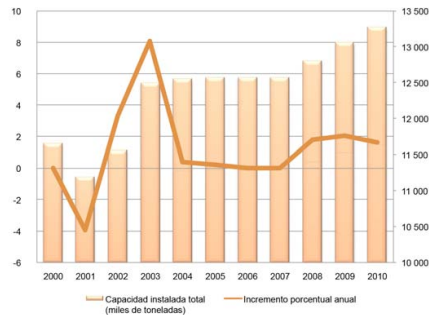
tenor, fue una pieza clave para sustentar el crecimiento del campo mexicano y un pilar en el nacimiento del sector industrial mexicano. Por lo tanto, desde principios de la década de los setenta y hasta 1982, se dio una fuerte promoción al establecimiento de instalaciones petroquímicas de gran escala y se amplió la producción de gas y otros hidrocarburos asociados al petróleo, con el objetivo de fincar las bases necesarias para el desarrollo manufacturero de productos petroquímicos nacionales, que se vio muy favorecido por el aumento de la oferta nacional.

La crisis de la deuda de 1982 puso en entredicho la capacidad administrativa del Estado y los procesos de apertura comercial y financiera mundiales transformaron el perfil de la petroquímica nacional. A partir de este momento se permitió la inversión privada, tanto nacional como extranjera, con el fin de modernizar la industria petroquímica y otorgarle competitividad internacional. Una de las primeras reformas importantes en la materia fue la que distinguió la llamada *petroquímica básica*, que se reservó al Estado, de la *secundaria*, en la cual se ha permitido la participación de empresas privadas. Además, se permitió la libre importación de productos petroquímicos, lo que obliga a que la oferta de Pemex (Pemex Petroquímica) sea cada vez más competitiva, tanto en precio como en calidad.

En términos de competitividad, es posible observar dos problemáticas: la capacidad instalada y la balanza comercial. En cuanto a la capacidad instalada, es notoria su falta de crecimiento. Desde el año 2000, este rubro apenas ha crecido a una tasa de 1.3% anual (véase la gráfica 1), circunstancia preocupante que indica no sólo falta de inversión en el rubro, sino retraso en la capacidad de reacción de la industria petroquímica, la cual debiese ser muy competitiva, si México desea obtener mayores beneficios de la misma.

Esta situación se encuentra asociada al creciente déficit del saldo de la balanza comercial (véase la gráfica 2).

GRÁFICA 1. PEMEX PETROQUÍMICA: CAPACIDAD INSTALADA, 2000-2010 (MILES DE TONELADAS ANUALES E INCREMENTO PORCENTUAL)



Fuente: Pemex, 2011.

GRÁFICA 2. SALDO DE LA BALANZA COMERCIAL DEL SECTOR PETROQUÍMICO EN MÉXICO, 2000-2010 (MILES DE DÓLARES)



Fuente: elaboración propia con datos del Inegi, Banco de Información Económica, series seleccionadas.

A pesar de la reducción del déficit en 2008, atribuida a los efectos de la recesión internacional que encareció las importaciones, el saldo comercial negativo ha aumentado de forma considerable. Este fenómeno resulta paradójico, pues México es el séptimo productor mundial de petróleo (3.6% del total) a la vez que es el noveno importador

de productos derivados del petróleo.³ De las importaciones, destacan los productos químicos y el gas propano, el cual ni siquiera forma parte de la composición de las exportaciones mexicanas (véase el cuadro 2). Es por ello que en el marco de la política económica nacional debe contemplarse, al menos:

³ International Energy Agency, *Key World Energy Statistics*, 2011.

• Promover la modernización tecnológica del sector y aprovechar las economías de escala de las cadenas productivas más rentables con el fin de

reducir los costos de producción; hacer más eficientes los procesos y aumentar la integración con etapas más avanzadas de la cadena productiva.

• Promover una mayor inversión complementaria en virtud de la baja inversión estatal, para lo cual es fundamental que el marco jurídico sea

CUADRO 2. MÉXICO: COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL COMERCIO EXTERIOR DE PRODUCTOS PETROQUÍMICOS, 2000-2010

Exportaciones							
Periodo	Total	Exportaciones de productos petroquímicos	Exportación de gas propano	Total productos de origen petroquímico	Textiles	Plásticos	Químicos
2000	100	14	0	86	11	25	50
2001	100	11	0	89	12	25	53
2002	100	15	0	85	14	27	44
2003	100	16	0	84	11	31	42
2004	100	15	0	85	9	38	37
2005	100	19	0	81	5	39	36
2006	100	18	0	82	4	32	46
2007	100	16	0	84	5	36	43
2008	100	11	0	89	5	35	49
2009	100	20	0	80	5	28	47
2010	100	16	0	84	5	33	46
Importaciones							
Periodo	Total	Importaciones de productos petroquímicos	Importación de gas propano	Total productos de origen petroquímico	Textiles	Plásticos	Químicos
2000	100	41	10	48	3	22	23
2001	100	33	7	60	4	27	29
2002	100	39	8	54	4	26	24
2003	100	42	8	51	3	22	26
2004	100	47	6	47	2	18	26
2005	100	49	3	48	3	21	24
2006	100	47	8	45	3	19	23
2007	100	47	10	43	3	16	24
2008	100	43	7	50	3	18	29
2009	100	45	7	48	3	18	27
2010	100	49	4	47	3	17	27

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, Banco de Información Económica, series seleccionadas.

acorde a este impulso de nuevas fuentes de financiamiento y que, a su vez, evite el continuo drenaje de recursos en pro de financiar la actividad gubernamental por la vía de las tasas impositivas que se aplican al sector.

Sin duda, emprender estos esfuerzos significará un reto importante para nuestra nación, en especial porque en épocas recientes la competitividad de países asiáticos se ha incrementado gracias a que varios de ellos cuentan con una ventaja determinante en términos de costos, que les permite ser exportadores netos de productos derivados del

petróleo (véase el cuadro 3), pues el costo de la materia prima (el petróleo y el gas natural) en el continente asiático es mucho menor como consecuencia de su alta disponibilidad (la región de Medio Oriente cuenta con 67% de las reservas mundiales de petróleo y 45% de las de gas natural),⁴ lo que, conjugado con el alza del precio internacional del petróleo, dota a estos países productores de enormes ingresos para su industria.

Debido a la falta de capacidad instalada y considerando el tipo de yacimientos petroleros, la producción de petroquímicos en México no tiene

la misma competitividad que la de las naciones referidas. Esto es atribuible, en gran medida, a que no se han sabido aprovechar las oportunidades; a diferencia de las naciones asiáticas, que han impulsado a los productores petroquímicos a diversificar sus productos con el fin de alargar la cadena de generación de valor agregado. Si este impulso sucediese en México, el país no sólo engrosaría la cantidad de productos petroquímicos, sino que, a su vez, estimularía el sector manufacturero y la generación de empleos.

CUADRO 3. PRODUCTORES, EXPORTADORES E IMPORTADORES NETOS DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL PETRÓLEO, 2011 (TONELADAS MÉTRICAS)

Principales productores mundiales	t	Exportadores netos	t	Importadores netos	t
Estados Unidos	807	Rusia	102	Japón	23
China	355	Arabia Saudita	50	China	20
Rusia	232	India	36	Hong Kong	19
India	186	Venezuela	33	Francia	16
Japón	179	Kuwait	28	España	15
Corea del Sur	116	Estados Unidos	19	Austria	14
Alemania	108	Argelia	16	México	13
Canadá	96	Bielorrusia	13	Indonesia	13
Brasil	96	Corea	13	Turquía	13
Arabia Saudita	94	Italia	12	Vietnam	13
Resto del mundo	1510 33	Otros	139	Otros	196
Mundo	3779 44	Total*	461	Total*	355

*La diferencia entre exportaciones e importaciones netas totales "es consecuencia del uso de diferentes fuentes de información y de una mala asignación de petróleo usado para navíos (combustible bunker) en la categoría exportaciones.

Fuente: International Energy Agency, 2011.

⁴ GBI Research, op. cit.

Lectura 3: Elemento con múltiples personalidades

Ficha de referencia

Gasque, S. L. (2019). Carbono. El elemento con múltiples personalidades. *¿Cómo ves?* 28, p.16-19.

Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/332180838_Carbono_El_elemento_con_múltiples_personalidades

Sinopsis

El artículo aborda la química del carbono y su importancia. La autora hace una relación entre las características nanoscópicas con las macroscópicas de los diferentes alótropos que hay en la naturaleza (amorfo, grafito, diamante, fullerenos) y la importancia social de cada una.

Ubicación en el programa

Unidad 1. Unidad I El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: Aprendizaje 5 (C, H) Explica la formación de un gran número de compuestos de carbono, a partir de las propiedades atómicas de este elemento. (N_3).

Justificación. El artículo permite refrescar al alumno las características principales del carbono, con la finalidad de que explique la existencia de una gran cantidad de compuestos de este elemento. Además, es una excelente opción para entender el valor del carbono en la sociedad.

Descripción de la actividad

1. Los alumnos realizan la lectura de forma individual.
2. Posterior a la lectura en equipos de máximo tres personas los alumnos realizan una infografía.
 - a) Realiza la lectura del texto de manera individual.
 - b) Posterior a la lectura del artículo realiza en equipos de tres personas una infografía sobre el carbono, puedes añadir fotografías propias. La infografía debe tener:
 - Nombre de los integrantes del equipo o autor.
 - Título de infografía.
 - Relevancia del elemento en la vida cotidiana.
 - Relación entre la estructura y las funciones de cada alótropo usando modelos.
 - Propiedades del carbono físicas y químicas (punto de fusión, punto de ebullición, electronegatividad, reactividad, etcétera).

- Explicación de las propiedades del carbono que permite formar una gran variedad de compuestos.
- Fuentes de información.

3. El docente puede evaluar la infografía por medio de una rúbrica en donde se tome en cuenta la información, la creatividad y la originalidad. A continuación, se presenta una propuesta:

Rubro	Excelente 3 puntos	Medio 2 puntos	Mejorable 1 punto
Organización visual	Atractiva y original, de fácil lectura.	Poco atractiva, no integra los elementos.	Cuesta trabajo leerla, es poco original.
Imágenes o fotografías	Todas imágenes sin derechos de autor o de creación propia.	Más del 50% de las imágenes son propias o sin derechos de autor.	No contiene imágenes o tiene derechos de autor.
Ortografía	No hay faltas de ortografía.	Contiene de 2 a 4 errores de ortografía.	Contiene más de 5 errores de ortografía.
Contenido	Es relevante para el tema y representa lo más importante.	El contenido es poco relevante para el tema.	El contenido no muestra importancia para el tema.
Fuentes	Contiene un mínimo de 3 fuentes confiables.	Contiene de 1 a 2 fuentes confiables.	No contiene fuentes.

4. El docente puede proponer un análisis de las infografías por medio de un concurso entre los alumnos o un debate del tema partiendo de ellas.

Nota para el profesor

Puede complementarse con la lectura del libro *El carbono: cuentos orientales* de Pedro Bosch / Graciela Pacheco que se puede encontrar en:

<http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/139/htm/carbono.htm>

Se sugiere al docente dar a los alumnos opciones de aplicaciones para la creación de infografías como:

<https://piktochart.com>

https://www.canva.com/es_419/

El elemento

con múltiples personalidades

Laura Gasque Silva



Posee características contrastantes: puede ser el más duro o uno de los más blandos; negro y opaco o incoloro y transparente; el más caro o el más barato; el más antiguo o el más moderno. Es un elemento que se encuentra en todos los seres vivos y forma una cantidad tan enorme de moléculas que tal vez nunca se conozcan todas.

Está constituido únicamente por átomos con seis protones y seis electrones.

COMO TODOS los elementos que conforman la materia del Universo, el carbono se originó en las estrellas, mediante reacciones de fusión nuclear (véase recuadro). El carbono es un elemento relativamente abundante en nuestro planeta; sus átomos se encuentran casi en su totalidad combinados con otros elementos, formando una gigantesca variedad de compuestos. Se piensa que la primera forma en que existió el carbono en nuestro planeta fue como dióxido de carbono (CO_2) que pudo haberse fijado en la corteza terrestre de diversas maneras, por ejemplo al combinarse con algunos óxidos metálicos, formando carbonatos como el mármol, (CaCO_3).

Al aparecer y proliferar los seres vivos y realizarse la fotosíntesis, con la cual se producen carbohidratos a partir de agua y dióxido de carbono, la cantidad de este último en la atmósfera fue disminuyendo y aumentó la cantidad de carbono sobre

la superficie de la Tierra y dentro de los océanos, como constituyente de toda la materia orgánica de plantas y animales, vivos y muertos.

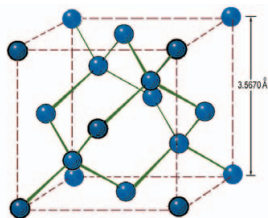
Se piensa que el carbono elemental se originó en el planeta como resultado de la sedimentación de enormes cantidades de plantas bajo el agua, que fueron descomponiéndose por la acción de diversos microorganismos en un ambiente escaso en oxígeno.

Formas cristalinas

Parte de ese carbono "primitivo", originado por los bosques de hace más de 300 millones de años, opaco, ligero y quebradizo, semejante al que se utiliza en un asador, cristalizó creando otras formas de carbono, con distintos grados de dureza. Esto ocurrió gracias a las enormes variaciones en la presión y temperatura de la Tierra durante los terremotos y las erupciones volcánicas.



La dureza de un material se determina por la capacidad que tiene éste de rayar a otros, y se mide en una escala arbitraria llamada de Mohs, por el mineralogista alemán que la inventó. La escala de Mohs va del 1 al 10; el valor máximo de 10 corresponde al diamante, que no puede ser rayado por ningún otro mate-



Estructura del diamante.
(10 000 Å = 0.000001 m)

rial de origen natural, mientras que el uno corresponde al talco. La palabra diamante hace honor a esta característica pues proviene del griego *adamantos*, que significa invencible. Sin embargo, los preciadísimos diamantes no son más que átomos de carbono que forman una estructura tetraédrica: a cada átomo se unen otros cuatro átomos y el resultado es una red tridimensional extraordinariamente rígida, la cual da al diamante su dureza. Cuando los átomos de carbono se acomodan en este arreglo cristalino, es el elemento puro más caro que existe, debido principalmente a su belleza. Sin embargo, su precio no está sujeto a controles internacionales (lo que sí ocurre con el oro), ya que éste puede variar enormemente de un diamante a otro del mismo peso (un “quilate” equivale a 0.2 g). Son muy importantes su brillo y su color, determinados por las pequeñas cantidades de impurezas que contenga. Por otro lado, el precio de un diamante no es proporcional a su masa, ya que mientras uno pequeño, digamos de 1/4 de quilate, como el de un anillo de compromiso, cuesta unos cuantos cientos de dólares, en 1995, la famosa casa de subastas Sotheby’s vendió un diamante de 100.1 quilates por 16 548 750 dólares, el mayor precio pagado hasta la fecha por una gema de esta clase. Si bien sólo una fracción de todos los diamantes tienen calidad de gemas, los restantes se valoran por sus aplicaciones industriales y tecnológicas, relacionadas generalmente con su dureza y resistencia.

Negro, opaco y blando

Si en lugar de estar acomodados tetraédricamente, los átomos de carbono se disponen en el espacio de manera diferente unos con respecto a otros, este material pierde toda su fuerza y belleza. El grafito es otra forma cristalina del carbono, en la que los átomos se encuentran en los vértices de hexágonos que tapizan un plano, de modo que cada átomo se encuentra unido a otros tres, como si fuera un piso formado de azulejos hexagonales; paralelo a cada plano de hexágonos, se encuentran otro idéntico. La distancia entre planos de hexágonos es grande, más del doble de la distancia entre dos átomos de carbono vecinos en un hexágono. Así, las inte-

En las estrellas

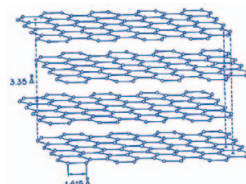


El carbono, como todos los elementos químicos, se originó en las estrellas. En sus inicios y durante buena parte de su vida, las estrellas producen energía por reacciones de fusión nuclear en las que cuatro núcleos de átomos de hidrógeno se combinan para formar un núcleo de átomo de helio.

Dependiendo de la masa de la estrella, antes o después el hidrógeno se convertirá casi en su totalidad en helio. En las estrellas como el Sol, cuando esto sucede, la región central de la estrella empieza a contraerse porque la energía que produce ya es insuficiente para contrarrestar la fuerza de gravedad. Al mismo tiempo, la envoltura de la estrella se expande y el astro toma una apariencia rojiza y su luminosidad aumenta. Hacia el final de este proceso, la temperatura en la región central alcanza 100 millones de grados kelvin y se desencadena una explosión que inicia una reacción nuclear conocida como triple-alfa, en la que tres núcleos de átomos de helio se combinan para formar un núcleo de átomo de carbono: cuando se agota el helio, la región central de la estrella queda compuesta casi en su totalidad por carbono. Después de varios procesos en los que el carbono se transforma en otros elementos, la estrella pierde su envoltura y se convierte en un cuerpo denso y muy brillante al que se denomina enana blanca.

En las estrellas mucho más masivas que el Sol, la reacción triple-alfa también se presenta, pero su evolución posterior es muy diferente. Es en ellas donde se producen los elementos más pesados que el hierro.

racciones entre planos adyacentes de átomos de carbono son muy débiles, por lo que se dice que la estructura del grafito es bidimensional.



Estructura del grafito.

Nombre:	carbono, de latín <i>carbo</i> , carbón
Símbolo:	C
Número atómico:	6
Masa atómica:	12.011
Densidad:	
Amorfo	1.9 g/cm ³
Grafito	2.25 g/cm ³
Diamante	3.52 g/cm ³
Fullerenos	1.72 g/cm ³
Abundancia:	17° lugar (aprox. la mitad de lo que hay de azufre y 1/60 de lo que hay de fósforo)
Principal productor:	
Amorfo	Estados Unidos
Grafito	China
Diamante	Sudáfrica
Fullerenos	Estados Unidos
Usos:	
Amorfo	combustible
Grafito	lubricante, lápices, electrodos
Diamante	joyas, instrumentos de corte y abrasión
Fullerenos	se están investigando

El grafito es completamente distinto al diamante: negro, opaco y blando. Tan blando que en la escala de Mohs alcanza apenas 0.5. Con una ligerísima presión, los planos de átomos de carbono se deslizan unos sobre otros, por eso al contacto con nuestros dedos queda como una mancha negra sobre ellos. Gracias a esta propiedad es que podemos usar el grafito para escribir, dentro de nuestros lápices o lapiceros; al presionar sobre el papel, depositamos sobre éste capas de átomos de carbono. De hecho, la palabra grafito proviene precisamente del latín *graphēin*, que significa escritura, ya que desde tiempos muy remotos se utilizaba para escribir.



Grafito.

El diamante y el grafito son lo que se conoce como alótropos, es decir, las distintas formas físicas en las que puede existir un elemento, ya sea en el arreglo tridimensional de sus átomos o en el número de átomos que forman sus moléculas. Las diferentes formas alotrópicas de un elemento tienen, en general, diferentes propiedades físicas y químicas. Entre los elementos que tienen formas alotrópicas se encuentran, además del carbono, el oxígeno (O₂, oxígeno diatómico y O₃, ozono), el fósforo (rojo, blanco, negro) y el estaño (blanco, gris).



Diamantes sintéticos.

¿Diamantes sintéticos?

Si el grafito, que es tan barato, y el diamante, que es tan caro, están hechos de átomos de carbono, ¿será posible fabricar diamantes a partir de grafito? Esta pregunta se la hicieron seriamente por primera vez los científicos de la *General Electric* en los años cincuenta. Inicialmente pensaron que sólo era cuestión de reproducir las tremendas presiones y temperaturas a las que se producen estas bellas gemas bajo la Tierra, a profundidades cercanas a los 400 kilómetros. Pero esto no fue suficiente. Hacía falta poner al grafito en contacto con un mineral fundido, idea inspirada por el descubrimiento de diamantes dentro de algunos meteoritos de composición mineral. El problema es que las trazas de mineral y el nitrógeno del aire que se introducen en el seno del diamante, le dan una coloración oscura o amarillenta, que los aleja mucho del aspecto deseado para una gema. En la actualidad existe un proyecto ruso-estadounidense para producir en el laboratorio diamantes tan bellos como los que se sacan de las profundas minas sudafricanas y se asegura que esto sucederá muy pronto. La duda es si serán igual de apreciados.

El carbón simple

Además de las formas cristalinas, existe el carbono amorfo, o simple carbón, en el que los átomos se encuentran “desordenados”. Por su abundancia, esta forma es la que se ha usado como combustible desde la prehistoria. Hoy en día aproximadamente el 25% de la energía que se produce en el mundo proviene de quemar carbón, principalmente en las plantas termoeléctricas; las reservas de carbón son más del doble de las del petróleo y casi el triple de las del gas natural.

El precio de la tonelada métrica de carbón amorfo en la actualidad es de aproximadamente 50 dólares, mientras que el del grafito oscila entre los 500 y los 1 500 dólares, dependiendo de la calidad cristalina. También es posible obtener grafito a partir de carbono amorfo, calentándolo a 2 500°C en presencia de sílice (SiO₂) y en ausencia de oxígeno. En los Estados Unidos, donde abunda el carbono amorfo y escasea el grafito, se pro-

Fibra de grafito

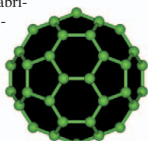
Cuando pensamos en la facilidad con la que se quiebra la punta de un lápiz, nos sorprende que en la actualidad se hable de "fibra de grafito", un material de alta resistencia, empleado para fabricar artículos deportivos como raquetas de tenis y palos de golf. El nombre correcto de este material es "fibra de carbono" y se obtiene mediante el tratamiento a muy altas temperaturas de ciertos polímeros. (Estos polímeros son moléculas gigantes formadas por cadenas de átomos de carbono enlazados entre sí y combinados con otros elementos, como el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno). El producto final está compuesto de aproximadamente 92% de átomos de carbono. Las fibras, que son aproximadamente cinco veces más delgadas que un cabello humano, se entretrejen y se pegan mediante resinas, dando como resultado un material altamente resistente.

Todavía no se ha logrado establecer con certeza la estructura —es decir, el arreglo de los átomos— de las fibras de carbono, pues éstas son materiales amorfos, a los cuales no pueden aplicarse las técnicas comunes de dilucidación de estructuras (como la difracción de rayos X). Se cree que en una pequeña muestra —de unas decenas o centenas de átomos—, la fibra de carbono y el grafito tienen la misma estructura, pero al aumentar su tamaño, encontraríamos que la fibra pierde ordenamiento con respecto al grafito. Se ha propuesto que las fibras de carbono consisten en "listones" de hexágonos de átomos de carbono que se doblan, a diferencia del grafito, donde la estructura permanece plana independientemente del tamaño de la muestra. Estos doblamientos de los listones evitan que se deslicen unos sobre otros, como los planos del grafito, lo que resulta en un notable incremento en la resistencia del material.

ducen de esta manera más de 300 000 toneladas anuales de grafito, que se utilizan principalmente en la fabricación de artículos de uso industrial.

Los fullerenos

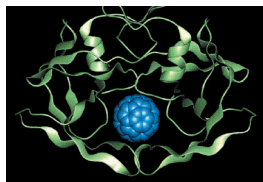
Mientras en su forma alotrópica amorfa el carbono es posiblemente la sustancia elemental más antigua reconocida por el hombre, existen otros alótropos descubiertos hace apenas 15 años, cuando ya se pensaba que el carbono no daría más sorpresas. En 1985 los investigadores Harold Kroto, británico, y Richard Smalley, estadounidense (véase ¿Cómo ves? No. 15), encontraron que al bombardear el grafito con un láser a temperaturas por encima de los 10 000°C, se formaban moléculas integradas por un alto número de átomos de carbono, desde 44 hasta 90, con un marcado predominio de las de 60 átomos (C_{60}) y las de 70 en segundo lugar. Estos investigadores conjeturaron que la mayor estabilidad del C_{60} se debía a que formaba un poliedro "pseudoesférico" de 60 vértices, con caras hexa-



Estructura de la molécula C_{60}

gonales y pentagonales, muy semejante a la figura de un balón de fútbol. A estas formas cristalinas del carbono se les ha llamado fullerenos, en honor al

célebre arquitecto R. Buckminster Fuller, diseñador de domos geodésicos. Aún no existen aplicaciones prácticas de los fullerenos que incidan en nuestra vida co-



Modelación molecular del C_{60} dentro del sitio activo de una enzima del VIH.

tidiana; sin embargo, en los primeros cinco años de su existencia se registraron, tan sólo en los Estados Unidos, 149 patentes relacionados con ellos. Ya existen varias compañías que venden fullerenos y el precio de un gramo de C_{60} ha bajado de 250 dólares en 1994 a sólo 45 en la actualidad.

En la búsqueda de posibles aplicaciones de este fascinante material, destaca lo realizado en el campo de la medicina. Se ha probado que un derivado soluble en agua del C_{60} inhibe a los virus de inmunodeficiencia humana VIH-1 y VIH-2, causantes del sida. Mediante estudios de simulación por computadora se ha visto que una molécula de C_{60} puede acomodarse perfectamente en el sitio activo de ciertas enzimas vitales para el virus (el sitio activo es la parte de la molécula de la enzima donde se lleva a cabo la reacción para la cual la enzima es un catalizador), lo que podría explicar el mecanismo de inhibición del virus. Desafortunadamente, la potencia de estos fullerenos es muy baja comparada con la de los fármacos empleados hoy en día contra el VIH.

De colores

A diferencia tanto del translúcido diamante como del negro grafito, los fullerenos poseen atractivos y variados colores. El C_{60} en películas delgadas es de color mostaza, mientras que en trozo es café oscuro y sus disoluciones en hidrocarburos aromáticos (como el benceno) son de un hermoso color magenta. El C_{70} en trozo es gris oscuro, pero sus películas delgadas son café-rojizo y sus disoluciones tienen un intenso color rojo vino. Por su parte, el C_{76} , el C_{78} y el C_{84} son amarillos.

Cuando vemos la gran versatilidad en la estructura y las propiedades del simple carbono elemental, que se produce con sólo cambiar la orientación de sus átomos, no nos sorprende que la química de este elemento sea lo suficientemente amplia y variada como para ser la base sobre la cual se ha desarrollado la vida en nuestro planeta. ♦

Laura Gasque Silva es doctora en química inorgánica por la Facultad de Química de la UNAM, donde es profesora en la licenciatura y el posgrado, y desarrolla labores de investigación en química bioinorgánica.

Lectura 4: ¿Por qué no es probable una vida basada en el silicio?

Ficha de referencia

Merino, P. (2012) ¿Por qué no es probable una vida basada en el silicio? *El escéptico*, 22-23, p.82-85.

Disponible en

https://www.escepticos.es/repositorio/elsesceptico/articulos_pdf/ee_22-23/ee_22-23_por_que_no_es_probable_una_vida_basada_en_el_silicio.pdf

Sinopsis

El artículo realiza una comparación entre algunas de las propiedades químicas del carbono *versus* las del silicio, trata en todo momento de responder a la interrogante del por qué no es posible una vida basada en el átomo de este último. Entre las propiedades que se mencionan en el texto están radio atómico, energía de enlace, reactividad y electrones de valencia.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: A5. (C, H) Explica la formación de un gran número de compuestos de carbono, a partir de las propiedades atómicas de este elemento. (N₃).

Justificación. El texto sirve como fundamento para que el alumno comience a cuestionarse por qué la vida se basa en compuestos de carbono y no de algún otro elemento de la tabla periódica partiendo de las propiedades químicas.

Descripción de la actividad

1. A partir del artículo, los alumnos deben indagar los siguientes puntos.
 - a) Después de realizar la lectura y con ayuda de tu tabla periódica completa la tabla 1.

Tabla 1. Similitudes entre el carbono y el silicio

Carbono	Silicio

b) Ahora en la siguiente tabla anota las diferencias entre el carbono y el silicio.

Tabla 2. *Diferencias entre el carbono y el silicio*

Carbono	Silicio

- c) Explica la importancia de que el dióxido de carbono se disuelva en el agua.
- d) Explica qué implicaciones tiene que el carbono pueda formar enlaces múltiples consigo mismo y el silicio no.
- e) Explica cómo es el comportamiento de los compuestos carbono-hidrógeno en comparación con los silicio-hidrógeno.
- f) ¿Cuántos compuestos de carbono se han identificado hasta el día de hoy y cuántos de silicio? A qué crees que se deba la diferencia en el número.

2. Después de haber investigado los puntos anteriores los alumnos deben formar equipos de tres y discutir sus respuestas.
3. Con la guía del profesor se discutirán en plenaria cada uno de los puntos y entonces se establecerá si es posible o no una vida basada en el átomo de silicio o cualquier otro elemento y qué otras condiciones se deberían de cumplir para que esto sucediera.
4. Posteriormente, se les puede pedir a los alumnos que busquen para los elementos cercanos al carbono como, por ejemplo: nitrógeno, fósforo, azufre; abundancia en el planeta tierra, número de compuestos identificados con ese elemento, capacidad de formar enlaces consigo mismo, capacidad de formar largas cadenas, distribución electrónica, electrones de valencia, radio atómico y electronegatividad.
5. Finalmente, en plenaria con base en los resultados obtenidos por los alumnos se explicará porque el átomo de carbono posee propiedades que lo hacen un elemento singular y que gracias a ello puede formar un sin fin de compuestos.

Nota para el profesor

La lectura y la indagación se pueden dejar de tarea, se sugiere solicitar un aula de cómputo para que en clase los alumnos puedan buscar información para resolver el inciso d. Esta actividad también se puede realizar vía remota con los alumnos.

Se sugiere que los alumnos consulten la página del CAS para verificar el número de sustancias.

<http://web.cas.org/cgi-bin/registry>

¿POR QUÉ NO ES PROBABLE UNA VIDA BASADA EN EL SILICIO?

Pedro Merino, Departamento de Química Orgánica, Universidad de Zaragoza, pmerino@unizar.es

Cualquier forma de vida conocida hasta la fecha está basada en la química del carbono; de ahí, incluso, que a dicha rama de la Química se la denomine Química Orgánica, por su relación con los organismos vivos. Sin embargo, aunque no se conoce ningún tipo de forma de vida extraterrestre (al menos cuya existencia haya sido probada a través de métodos científicos más allá de cualquier duda razonable), cabe preguntarnos si sería posible, en el espacio exterior, encontrar formas de vida basadas en otros elementos y compuestos químicos diferentes de aquéllos en los que se basa la existente en nuestro planeta.

¿Las primeras respuestas a esta cuestión las encontramos en relatos fantásticos, algunos de los cuales han llegado a mediados del siglo pasado al cine y la televisión¹. En todos ellos se han propuesto formas de vida diferentes, intentando sustituir los elementos más comunes de la nuestra por otros análogos, basándose en sus propiedades químicas. Planetas alejados podrían contener lagos de amoníaco líquido que hiciera las funciones del agua en la Tierra o mares de sulfuro de hidrógeno (mal llamado ácido sulfhídrico) donde naciera una vida utilizando el azufre en lugar del oxígeno.

De todas estas formas de vida alternativas, propuestas por las mentes más imaginativas, intentando —justo es admitirlo— argüir razones científicas, la que más adeptos ha encontrado siempre es aquella en la que el átomo de carbono se reemplaza por el de silicio.

Puesto que se podría escribir mucho sobre las formas de vida alternativas, en este artículo me referiré única-

mente a ésta última e intentaré exponer las razones por las que resultaría altamente improbable una vida basada en el silicio.

Antes de que se me acuse de humano egocéntrico incapaz de admitir algo diferente de lo ya conocido y establecido y, por ende, de científico de mente estrecha, debo puntualizar una idea básica, bien admitida y demostrada, sobre la que basaré mis argumentaciones. Ésta no es otra sino que en todo el Universo, por grande que éste sea, rigen las mismas leyes de la Física y, por extensión, de la Química. Esto es, que aunque nuestro todavía desconocido extraterrestre los llame por otro nombre, los

elementos químicos que puedan conformar la materia conocida serán los mismos: estarán formados por las mismas partículas subatómicas y se regirán por los mismos principios que conocemos en la Tierra.

No olvidemos que los seres vivos contienen en su mayor parte agua, es decir, átomos de hidrógeno y de oxígeno. Sin embargo, para que la vida exista en la Tierra es necesaria la presencia de compuestos de carbono. El carbono puede combinarse con el hidrógeno para formar compuestos tan sencillos como el metano (CH_4) y otros con un gran número de átomos como el *nonacontatrictano* ($\text{C}_{390}\text{H}_{782}$). Compuestos con estructuras más complejas ya sea en número de átomos, en estructura o en ambos son capaces de almacenar energía (como las moléculas de ADP y ATP) o información (como el ADN, a la sazón protagonista del denominado “dogma central” de la Biología). Dichos derivados de carbono, a la par que estables, son suficientemente reactivos como para poder ser modificados por los seres

Cabe preguntarnos si sería posible, en el espacio exterior, encontrar formas de vida basadas en otros elementos y compuestos químicos diferentes de aquéllos en los que se basa la existente en nuestro planeta.

¿Por qué no es probable una vida basada en el silicio?

Una recreación del "Hombre de Silicio" para la portada de «Redención no contesta» en la obra de ciencia ficción "La Saga de los Aznar" de G.H.White, donde se describe una raza de estas criaturas.
www.silente.net



vivos en pos de su supervivencia. Todas estas propiedades son únicas para los compuestos derivados del carbono. Ningún otro elemento aglutina todas ellas por sí mismo².

El compuesto más parecido, en principio, al carbono es el situado inmediatamente debajo de él en la tabla periódica, lugar que corresponde al silicio. ¿Qué ocurriría entonces si intercambiamos el silicio por el carbono y dejamos todo lo demás como está? El silicio también es capaz de formar largas cadenas consigo

mismo o con otros elementos como el oxígeno (¿quién no ha oído hablar de las siliconas?). También, al igual que el carbono, el silicio es capaz de combinarse tanto con hidrógeno como con oxígeno, por lo que podría formar compuestos alternativos a los hidrocarburos y al dióxido de carbono, respectivamente. Entonces, ¿cuáles son las razones para el título de este artículo?

Si queremos entender por qué las razones expuestas anteriormente no son suficientes para defender una

posible vida basada en el silicio, debemos hacer un análisis mucho más detallado de las comparaciones hechas anteriormente. Si hemos de preguntarnos si la vida basada en silicio existe, también deberíamos preguntarnos por qué no existe aún cuando el silicio es el segundo elemento químico más abundante en la Tierra (y mucho más abundante que el carbono).

Es cierto que el silicio, al igual que el carbono, es capaz de formar enlaces consigo mismo: incluso tiene la misma valencia (cuatro) por lo que el tipo de estructuras que puede formar son las mismas que las del carbono. Eso es porque ocupa la posición inferior al carbono en la tabla periódica y eso quiere decir que comparte muchas de sus propiedades químicas. Por ejemplo, al igual que el carbono, el silicio puede formar cuatro enlaces con sendos átomos de hidrógeno, formando así el silano (SiH_4). Otras propiedades químicas, en cambio, precisamente por estar en la fila inmediatamente inferior de la tabla periódica, son muy diferentes. Una de ellas es el tamaño. El átomo de silicio tiene ocho electrones más que el de carbono y su radio atómico mide 0,118 nanómetros (nm) en comparación con el del átomo de carbono que es de 0,077 nm. Esa diferencia de radio atómico se traduce en una mayor distancia de enlace químico entre átomos de silicio (0,250 nm) que entre átomos de carbono (0,154 nm) y, por ello, el enlace silicio-silicio es sólo la mitad de fuerte (energía de enlace³: 327 kJ/mol) que el enlace carbono-carbono (energía de enlace: 607 kJ/mol), así que las cadenas complejas de silicio no tendrían la estabilidad suficiente para formar estructuras complejas compatibles con la vida. Por otra parte, la gran afinidad

del silicio por el oxígeno va en contra de una vida basada en el primero⁴. El dióxido de silicio no es soluble en agua, mientras que el dióxido de carbono sí que lo es y la energía de enlace silicio-oxígeno es mucho mayor que la del enlace carbono-oxígeno⁵.

Por sí mismas, todas estas razones son ya suficientes para justificar por qué el carbono se encuentra presente en todas las formas de vida de la Tierra y el silicio sólo forma rocas (algunas de ellas de gran belleza, desde luego, pero siempre inanimadas).

Pero hay más razones por las que el silicio no es, en absoluto, comparable al carbono. Los enlaces que el carbono puede formar consigo mismo pueden ser sencillos o múltiples (dobles y triples). En términos químicos eso es fundamental para la reactividad de los compuestos que, siendo muy estables, pueden reaccionar químicamente con otras moléculas para transformarse en compuestos diferentes siempre y cuando se den las condiciones adecuadas. El silicio, por el contrario, sólo forma enlaces sencillos consigo mismo y ni siquiera son suficientemente estables para mantener la integridad de moléculas grandes.

El carbono también puede formar estructuras cíclicas, bien sólo con átomos de carbono (como el benceno) o en combinación con otros elementos (como en los carbohidratos). El silicio no forma compuestos cíclicos. Es demasiado grande para ello y las estructuras cíclicas serían tremendamente inestables.

Es en la combinación del elemento clave (carbono o silicio) con los átomos que forman la molécula más importante de la Tierra (el agua) donde encontramos las mayores diferencias. Los compuestos formados por carbono e hidrógeno (hidro-

carburos) son estables en presencia de oxígeno, pero bajo determinadas condiciones pueden combinarse con él para formar otros compuestos, incluyendo dióxido de carbono y agua en una reacción que es la base de la producción energética de nuestro planeta. Por el contrario, los compuestos formados por silicio e hidrógeno (*silanos*) se inflaman espontáneamente en presencia de oxígeno,

por lo que su reactividad es difícilmente controlable y dichos compuestos serían de dudable existencia en un mundo con abundante oxígeno. Podemos intercalar átomos de oxígeno en las cadenas de silicio y tendríamos siliconas. Éstas son mucho más estables, es cierto, por lo que podrían formar estructuras más complejas que serían también muy resistentes⁶. Sin embargo, dichas estructuras serían, precisamente por su alta estabilidad, difícilmente transformables en otras sustancias. Por último, los derivados de silicio más estable son aquéllos que, además de combinarse con oxígeno, lo hacen con cationes metálicos, formando silicatos, compuestos demasiado estables para ser modificados por un ser vivo.

Desde luego podemos pensar que todos estos problemas quizá fueran solucionables en un entorno determinado y adecuado, pero ¿cuál debería ser ese entorno?. Desde luego tendría que tener una abundante fuente de

silicio (de lo contrario, una vida basada en silicio tendría bastantes problemas). Pero también necesitaría una cierta diversidad de otros elementos básicos como hidrógeno,

oxígeno, azufre y fósforo. Y, entonces, si tenemos esos elementos y agua, ¿qué evitaría que se formara la vida basada en el carbono?

El silicio sólo forma enlaces sencillos consigo mismo y ni siquiera son lo suficientemente estables como para mantener la integridad de moléculas grandes.

En definitiva, la vida en la Tierra se debe a una serie de pequeñas coincidencias (si es posible llamarlas así) que establecen unas condiciones idóneas para que se produzca. El simple intercambio de un átomo por otro es algo demasiado sencillo como para que se pueda pensar en una alternativa y que todo funcionara de la misma forma. Por citar un solo inconveniente, habría también que pensar en otro medio disolvente, análogo al agua de la Tierra, que fuera el complemento ideal de los compuestos de silicio. Y todo ello, a su vez, en un mundo que proporcionara unas condiciones muy particulares (no necesariamente iguales a las de la Tierra). Encontrar esas condiciones es muy difícil pero dada la magnitud del Universo quizá no imposible.

Lo que sí resulta bastante impensable es que la vida extraterrestre, si existe, sea en su base molecular (y sólo en ella, ya que no tratamos aquí acerca de sus posibilidades intelectuales) muy diferente a la de la Tierra. En tal caso, debería ser completamente distinta a la vida que conocemos. Mediante una visión soñadora de la Química podría parecer posible, pero todas las evidencias apuntan en la dirección opuesta, por lo que su existencia cae definitivamente en el terreno de la especulación. Y ello porque, como he comentado

Lo que si resulta bastante impensable es que la vida extraterrestre, si existe, sea en su base molecular muy diferente a la de la Tierra.

¿Por qué no es probable una vida basada en el silicio?

al principio de este artículo, las leyes de la Naturaleza que rigen en la Tierra son las mismas para el resto del Universo.

NOTAS

1. Uno de los más conocidos es un episodio de la serie *Star Trek* en el que tienen que enfrentarse a una especie de vida basada en el silicio denominada Horta, nativa del planeta Janus VI y descubierta por la Federación en 2267 gracias al oficial científico Spock de la nave *Enterprise*.
2. Efectivamente, la posibilidad de combinarse para formar un gran número de compuestos es única en el carbono. En la tabla periódica hay más de 110 elementos conocidos. Si exceptuamos el carbono, se conocen más de 50.000 posibles compuestos químicos, combinación del resto de los elementos, conocidos como compuestos inorgánicos. Sin embargo, cuando incluimos el carbono, el número de compuestos asciende a más de seis millones, y eso que en ese número no se incluyen los compuestos de gran complejidad directamente relaciona-

dos con los seres vivos, esto es, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos. Sólo ellos ya son también varios millones, lo que hace que la proporción entre compuestos inorgánicos y orgánicos sea ciertamente pequeña.

3. Datos para moléculas diatómicas en fase gaseosa a 273 K. La distancia de enlace C-C en el carbono elemental (grafito) es de 0,143 nm. En el silicio elemental es de 0,235 nm.

4. Una prueba adicional la encontramos en Júpiter. Con una atmósfera rica en hidrógeno no se ha observado la presencia de silanos en el planeta, donde a pesar de la abundancia de hidrógeno todo el silicio se encuentra en forma de óxido de silicio (comúnmente denominado sílice o arena). Otros estudios han revelado la presencia de silicatos en meteoritos y cometas y, sin embargo, no se ha encontrado ningún rastro de silanos o siliconas, por lo que la presencia de compuestos de silicios que contengan hidrógeno es altamente improbable.

5. Para los que tengan conocimientos de Química hay que añadir, además, que el silicio cuando se combina con el oxígeno para dar lugar al dióxido de silicio (el componente mayoritario de la arena) forma una

estructura tridimensional de gran estabilidad muy parecida a la del diamante. Existe otra gran diferencia entre el carbono y el silicio en su combinación con el oxígeno.

Mientras que el silicio lo hace a través de enlaces sencillos, el carbono forma enlaces múltiples con el oxígeno que, lejos de aumentar su estabilidad, favorece su reactividad química, fundamental, entre otras cosas, para la fotosíntesis.

6. El extraterrestre de la película *Alien: el octavo pasajero*, y sus sucesivas secuelas, tenía como fluido sanguíneo un ácido corrosivo que el ser vivo podía soportar precisamente por tener tejidos de silicona. Esta idea fue copiada de la serie *Star Trek*, ya que el organismo Horta secretaba un ácido muy corrosivo para moverse a través de la roca (ver nota núm. 1). En cualquier caso, resulta difícil pensar cuál sería su fuente de alimentación que contuviera abundante silicio y cómo su metabolismo lo transformaría en siliconas en el espacio exterior donde no hay oxígeno... por mencionar sólo un par de incongruencias científicas en relación con esa hipotética forma de vida.



★ Joan G.

Lectura 5: Es imposible verlos (los enlaces pi), pero hacen posible que veamos: la química de la visión

Ficha de referencia

Domínguez R. (2008). *Química: la ciencia básica*. Madrid: Thompson Ediciones Paraninfo, pp. 457-458.

Disponible en

<https://books.google.com.cu/books?id=QM-Gj2K2ZKYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>

Sinopsis

El texto da una breve explicación de cómo funciona el ojo humano, al centrarse en la transformación que sufren los

isómeros del retinal para explicar cómo es que tenemos la sensación de la visión y el movimiento. Se presentan las estructuras de los isómeros *cis* y *trans* y la explicación del ciclo de interconversión de una molécula en otra.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: A8. (C) Establece la diferencia entre la isomería estructural y la geométrica de los compuestos orgánicos, para comprender su importancia en los sistemas vivos.

Justificación. A partir de este texto es posible despertar el interés de los alumnos en cómo la química puede explicar un fenómeno tan complejo como la visión humana partiendo de los isómeros geométricos del retinal.

Es imposible verlos (los enlaces pi), pero hacen posible que veamos: la química de la visión

En el transcurso del estudio del enlace covalente hemos podido ver cómo el doble enlace $C=C$ es más fuerte que el sencillo $C-C$, pero más débil que la suma de dos enlaces sencillos. También tuvimos ocasión de poner de manifiesto que el triple enlace $C\equiv C$ es más débil que la suma de tres enlaces simples:

Energía de enlace $C-C$: 348 kJ/mol

Energía de enlace $C=C$: 612 kJ/mol

Energía de enlace $C\equiv C$: 837 kJ/mol $\times 2$

Energía de enlace $C-C$: 696 kJ/mol $\times 3$

Energía de enlace $C-C$: 1044 kJ/mol

La razón de estos hechos se halla en que un enlace sencillo es una unión sigma, mientras que el segundo enlace que complementa al sigma en un enlace múltiple es el resultado de una unión pi. En el carbono los enlaces π son aproximadamente 64 kJ/mol más débiles que los enlaces sigma, por razones que estamos en condiciones de comprender: la distribución espacial de los electrones que forman los enlaces π es menos favorable que la de los sigma para mantener unidos a los átomos entre sí.

Al estudiar la naturaleza de los dobles enlaces hemos tenido ocasión de ver cómo éstos impiden la libre rotación de una parte de la molécula con respecto a la otra: el doble enlace es torsionalmente rígido (impide el movimiento de torsión o libre rotación). La rigidez torsional de los dobles enlaces es la que hace posible la lectura de este escrito, a través del complejo proceso químico que vamos a describir.

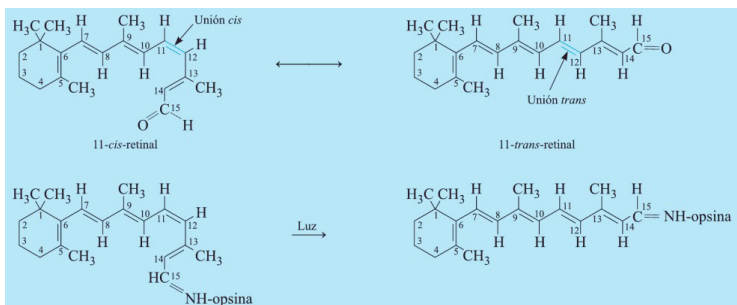
El ojo humano es *grosso modo* una esfera con una abertura en la parte frontal por donde penetra la luz hasta su fondo, recubierto por células en forma de conos y bastoncillos. Cada ojo contiene 7 millones de conos que detectan los colores y 120 millones de

bastoncillos cuya misión es detectar la luz blanca. Las moléculas responsables de la visión se encuentran en la superficie de conos y bastoncillos, siendo la de rodopsina la que desempeña el papel fundamental.

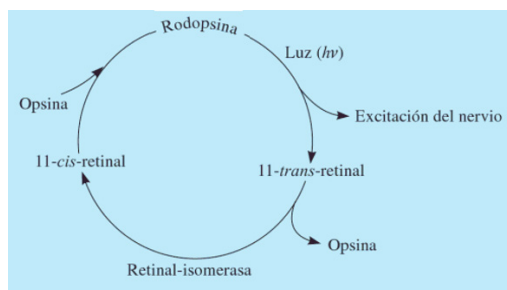
La rodopsina está formada por dos constituyentes: una proteína denominada opsina y una porción más sencilla que es la molécula de un aldehído llamado retinal.

Cuando las dos partes se separan, el color rojo púrpura de la rodopsina desaparece excitando a la célula a la cual está unida. Esta célula, que actúa como receptor, excita a otras células que envían un mensaje al cerebro. En condiciones normales es necesario que se exciten unas cinco células para provocar la sensación de la visión, lo que significa que sólo se precisan cinco fotones para estimular el ojo. Lo que representa una energía de 10^{-18} J.

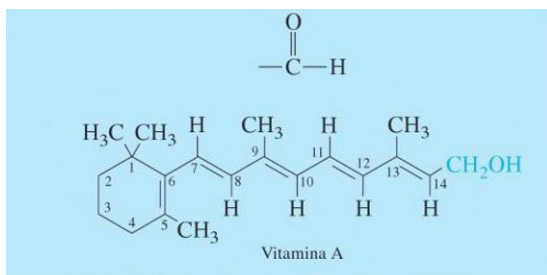
Después de la activación de la rodopsina y la separación de la forma *trans* del retinal, ésta se convierte en forma *cis*, mediante un proceso enzimático regulado por la retinal-isomerasa, y vuelven a enlazarse con la opsina, para completar así la secuencia de reacciones que constituyen el ciclo visual. En todas ellas la etapa crucial de los procesos de conversión-reconversión de las distintas formas del retinal, se lleva a cabo a través de la secuencia: excitación de los electrones $\pi \rightarrow$ rotura del enlace $\pi \rightarrow$ rotación alrededor del enlace sigma $\rightarrow$ reconstrucción del enlace π .



La molécula de retinal puede adoptar dos formas isómeras *cis* y *trans* como consecuencia de la correspondiente disposición espacial de los sustituyentes del doble enlace del carbono 11, pero sólo está unida a la opsina cuando se encuentra en la forma *cis*. Cuando la rodopsina absorbe la luz, el retinal se isomeriza a la forma *trans* que se separa de la opsina. El proceso de descomposición no es tan rápido como el de formación, por lo que la imagen formada en la retina persiste durante aproximadamente una décima de segundo. Esta persistencia nos hace percibir en movimiento las imágenes de cine y vídeo, cuando en realidad éstas son una secuencia de fotografías estáticas tomadas a intervalos de tiempo de un treintavo de segundo.



Durante la regeneración de la opsina se pierde parte de retinal que necesita ser remplazado por vitamina A de la corriente sanguínea, que hace de ésta una sustancia determinante de la salud visual. La vitamina A difiere del 11- *trans*-retinal tan sólo en que la vitamina posee el grupo alcohol CH_2OH en lugar del grupo aldehído del retinal.



Descripción de la actividad

1. Posterior a la lectura se les entregará a los alumnos el siguiente cuestionario.

a) Completen la siguiente tabla:

# de átomos	11- <i>cis</i> -retinal	11- <i>trans</i> -retinal
Carbono		
Hidrógeno		
Oxígeno		
Fórmula molecular		
Nombre del grupo funcional presente		

b) Después de analizar los resultados de la tabla anterior explica ¿cuál es la diferencia que encuentras entre los compuestos 11-*cis*-retinal y 11-*trans*-retinal?

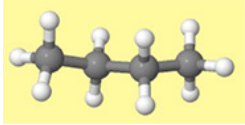
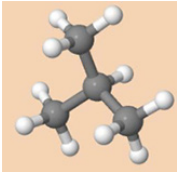
c) ¿Cómo se les llaman a los compuestos que tienen la misma fórmula molecular pero que difieren estructuralmente?

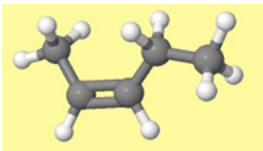
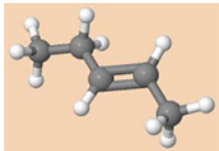
d) Realiza un esquema de los diferentes tipos de isómeros

e) ¿De acuerdo a tu indagación el 11-*cis*-retinal y 11-*trans*-retinal a qué tipo de isómeros corresponden?

f) Construye las moléculas del 11-*cis*-retinal y 11-*trans*-retinal utilizando el software de moléculas 3D: <http://biomodel.uah.es/en/DIY/JSME/draw.es.htm>

- g) Coloca las imágenes en 3D que te permitan observar desde diferentes ángulos cada una de las moléculas.
- h) ¿Explica la importancia de que en el ojo se lleve a cabo la transformación del 11-*trans*-retinal al 11-*cis*-retinal?
- i) Explica ¿por qué es importante consumir alimentos que contengan vitamina A?
- j) ¿Qué te ha gustado del texto?
- Las respuestas al cuestionario se revisarán en tríos permitiendo que los alumnos nutran cada una de ellas con la información que aporte cada alumno.
 - Con base en el cuestionario, las respuestas de los tríos y una PPT el profesor puntualizará los aspectos más relevantes de los isómeros y su importancia biológica, en este caso en la visión.
 - Finalmente, el profesor pedirá a los alumnos que clasifiquen los siguientes isómeros.

Tipo de isómero:		
	Fórmula molecular:	Fórmula molecular:
	Nombre:	Nombre:

Tipo de isómero:	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2 \quad \quad \text{H} \\ \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{CH}_2\text{CH}_3 \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3\text{CH}_2 \quad \quad \text{CH}_2\text{CH}_3 \\ \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{C}=\text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \end{array} $
	Fórmula molecular:	Fórmula molecular:
	Nombre:	Nombre:
Tipo de isómero:	$ \begin{array}{ccccccc} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \\ & & & & & & \\ \text{H} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{H} \\ & & & & & & \\ & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \\ \quad \diagdown \quad \diagup \\ \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_3 \end{array} $
	Fórmula molecular:	Fórmula molecular:
	Nombre:	Nombre:
Tipo de isómero:		
	Fórmula molecular:	Fórmula molecular:
	Nombre:	Nombre:

Nota para el profesor

Para abordar el aprendizaje 8 el profesor puede elegir entre este artículo o el siguiente titulado *Grasas, dieta y salud*, dependiendo del nivel cognitivo que el profesor haya identificado en sus alumnos, ya que el siguiente posee un mayor grado de complejidad que requiere la integración de conceptos vistos en otras asignaturas.

El cuestionario se puede dejar como tarea, se puede realizar en las salas de computo, o sí se trabaja vía remota es posible responder con apoyo de información obtenida en internet.

Se les sugieren a los estudiantes los siguientes sitios para reforzar el tema de isomería:

Khan Academy. Isómeros estructurales (constitucionales). Recuperado el 10 de septiembre de: <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/gen-chem-review/bond-line-structures/v/structural-constitutional-isomers-new>

Khan Academy. Isomería *cis-trans*. Recuperado el 10 de septiembre de: <https://es.khanacademy.org/science/organic-chemistry/alkenes-alkynes/naming-alkenes-jay/v/cis-trans-isomerism>

Lectura 6: Grasas, dieta y salud

Ficha de referencia

Villalpando S., Ramírez I., Bernal D. y De la Cruz V. (2007). *Grasas, dieta y salud. Tablas de composición de ácidos grasos de alimentos frecuentes en la dieta mexicana*. Instituto Nacional de Salud Pública. México. pp. 13-17

Disponible en

https://www.insp.mx/images/stories/Produccion/pdf/100722_cp36.pdf

Sinopsis

El texto trata en general sobre las grasas y algunas de las implicaciones para la salud. Inicia con una breve descripción de lo que son los lípidos, ácidos grasos polinsaturados, los ácidos grasos *trans* y los isómeros geométricos de estos.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: A8. (C) Establece la diferencia entre la isomería estructural y la geométrica de los compuestos orgánicos, para comprender su importancia en los sistemas vivos.

Justificación: Este artículo presenta una excelente oportunidad para que los alumnos adquieran un aprendizaje integral debido a que pueden aplicar los conocimientos sobre las grasas trans en la selección de los alimentos que consumen.

Descripción de la actividad

1. Se les pedirá a los alumnos que en equipos de 4-5 personas realicen una infografía que contenga lo siguiente:
 - a) Título atractivo.
 - b) Definición de isómeros.
 - c) Un esquema en el que se muestren los tipos de isómeros con un ejemplo de cada uno.
 - d) Definición de las grasas saturadas e insaturadas.
 - e) Explicación de qué son los ácidos grasos *trans*.
 - f) La estructura 3D de algún ácido graso *trans* (utilizando software para la elaboración de moléculas como: <http://biomodel.uah.es/en/DIY/JSME/draw.es.htm>).
 - g) Alimentos que contienen ácidos grasos *trans*.
 - h) Riesgos de consumir los ácidos grasos *trans*.
 - i) Fuentes de información en formato APA.
2. Posteriormente el profesor seleccionará a un equipo al azar para que exponga su infografía.

3. Los demás equipos realizarán aportaciones para nutrir la información que los exponentes hayan proporcionado.
4. El profesor con el apoyo de las infografías de los alumnos puntualizará los aspectos más importantes de los isómeros estructurales y geométricos.
5. Finalmente, el profesor les proporcionará algunos ejercicios de isómeros para reforzar el aprendizaje (se pueden emplear los propuestos para el texto anterior *Es imposible verlos (los enlaces π), pero hacen posible que veamos: la química de la visión*).

Nota para el profesor

La infografía se puede solicitar como tarea para que los alumnos se organicen y la presenten en una siguiente sesión. Esta actividad se puede llevar a cabo de modo presencial o vía remota.

Se sugieren las siguientes aplicaciones para realizar infografías más versátiles

<https://piktochart.com>

https://www.canva.com/es_419/

A continuación, se proporciona una rúbrica de evaluación que puede ser empleada para que los alumnos coevalúen el trabajo de sus compañeros.

Criterio	Experto (4)	Practicante(3)	Aprendiz (2)	Novato (1)
Ideas centrales	Están presentes las ideas centrales en torno al tema. La vinculación de las ideas centrales permite comprender el tema.	Están presentes algunas de las ideas centrales en torno al tema. La vinculación de las ideas centrales permite comprender parcialmente el tema.	Están presentes pocas ideas centrales en torno al tema. La vinculación de las ideas centrales difícilmente permite comprender el tema.	Hay muy pocas ideas centrales en torno al tema. No existe vinculación de las ideas centrales que permitan comprender el tema.
Organización y diseño	Los títulos, subtítulos, textos e imágenes mejoran el entendimiento del tema. Se encuentran bien asociadas las ideas centrales en relación con las imágenes. Los espacios dentro de la infografía fueron aprovechados adecuadamente. Los colores empleados permiten enfatizar las ideas centrales. El tamaño de letra es adecuado.	Algunos de los títulos, subtítulos, textos e imágenes mejoran el entendimiento del tema. Algunas las ideas centrales se encuentran bien asociadas en relación con las imágenes. Algunos de los espacios dentro de la infografía fueron aprovechados adecuadamente. Algunos de los colores empleados permiten enfatizar las ideas centrales. En casi toda la infografía el tamaño de letra es adecuado.	Los títulos, subtítulos, textos e imágenes contribuyen poco al entendimiento del tema. Pocas de las ideas centrales se encuentran relacionadas con las imágenes. Pocos de los espacios dentro de la infografía fueron aprovechados adecuadamente. Los colores empleados permiten un poco la enfatización de las ideas centrales. En pocas zonas de la infografía el tamaño de letra es el adecuado.	Los títulos, subtítulos, textos e imágenes no contribuyen al entendimiento del tema. Las ideas centrales no se encuentran asociadas con las imágenes. Los espacios dentro de la infografía no fueron aprovechados adecuadamente. Los colores empleados no permiten la enfatización de las ideas centrales. El tamaño de letra no es el adecuado.
Uso de las imágenes	Las imágenes empleadas: apoyan las ideas centrales. poseen muy buena claridad y nitidez. se citan apropiadamente todas las imágenes.	Las imágenes empleadas: apoyan parcialmente las ideas centrales. la mayoría poseen buena claridad y nitidez. se citan apropiadamente algunas de las imágenes.	Las imágenes empleadas: apoyan muy poco las ideas centrales. pocas poseen buena claridad y nitidez. se citan apropiadamente muy pocas de las imágenes.	Las imágenes empleadas: no apoyan las ideas centrales. no poseen buena claridad y nitidez. no se citan apropiadamente las imágenes.

Redacción y ortografía	No existen errores de ortografía, puntuación, ni gramaticales. La redacción, la sintaxis y el vocabulario seleccionado son apropiados.	Existen algunos errores de ortografía, puntuación, o gramaticales. La redacción, la sintaxis y el vocabulario seleccionado son parcialmente apropiados.	Existen varios errores de ortografía, puntuación, o gramaticales. La redacción, la sintaxis y el vocabulario seleccionado son poco apropiados.	Hay muchos errores de ortografía, puntuación, y gramaticales. La redacción, la sintaxis y el vocabulario seleccionado no son apropiados.
Fuentes de información	Todas las fuentes de información están en formato APA.	Algunas de las fuentes de información están en formato APA.	Pocas de las fuentes de información están en formato APA.	No hay fuentes de información o no están en formato APA.
Puntuación total:				
Observaciones:				

Grasas, dieta y salud

Introducción

Definición y clasificación de los ácidos grasos

Los lípidos son sustancias no solubles en agua, extraíbles de las células y de los tejidos por solventes no polares conocidos también como disolventes orgánicos (alcohol, éter etílico, hexano, etcétera).¹ Se habla de lípidos cuando se refiere a moléculas específicas de estos compuestos. Cuando nos referimos a mezclas de lípidos contenidos en tejidos animales o en los alimentos es apropiado llamarlos grasas.¹

De acuerdo con su estructura, los lípidos se dividen en saponificables y no saponificables. Los saponificables, es decir, que pueden ser convertidos en jabón al reaccionar con álcalis fuertes, incluyen a los acilglicerolos, los fosfoglicéridos, los esfingolípidos y a las ceras.¹ En términos generales, los compuestos de este grupo están formados por ácidos grasos (AG) los cuales se combinan con otros compuestos que les dan estructura. Así, cuando una molécula de AG se combina con una molécula de glicerol—un poliol de tres carbonos— mediante uniones éster, se forman: mono, di o triacilglicéridos, llamadas también grasas neutras. Los ácidos grasos se pueden clasificar de acuerdo con la saturación de hidrógenos en su estructura. La pérdida de un par de hidrógenos da lugar a una doble ligadura entre dos moléculas de carbono de la cadena. De esta manera se llama ácidos grasos saturados, a aquellos que no tienen dobles ligaduras en su cadena, monoinsaturados a aquellos que tienen una sola doble ligadura y

poliinsaturados a aquellos que tienen en su cadena dos o más dobles ligaduras. Cuando uno de los ácidos grasos de un triacilglicérido es sustituido por un fosfátido como la lecitina, se convierte en un fosfoglicérido.¹

Los lípidos no saponificables o lípidos simples son moléculas que contienen frecuentemente anillos cíclicos en su cadena como es el caso del colesterol, las vitaminas liposolubles (A, D, E, y K) y las hormonas esteroideas.¹

Los lípidos se pueden combinar con otras biomoléculas para formar glucolípidos o lipoproteínas.¹

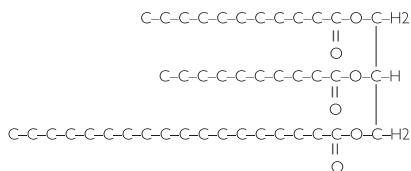
Los lípidos y la dieta

Los lípidos más abundantes en la dieta y en el organismo son los triacilglicerolos, compuestos por la combinación de tres moléculas de ácidos grasos y una de glicerol. Los ácidos grasos se unen al glicerol en el sitio donde se encuentran los hidroxilos de su función alcohol; al perder una molécula de agua formada por el hidroxilo y el grupo carboxilo del ácido graso se forman las uniones éster (figura 1). El glicerol puede unirse a uno, dos o tres residuos de ácidos grasos (acilos), para formar mono, di o triacilglicerolos. Los ácidos grasos tienen cadenas lineales con una longitud variable, frecuentemente entre 8 y 18 carbonos con diferentes grados de saturación.²

Los ácidos grasos poliinsaturados esenciales (PUFAS)

Un grupo especial de ácidos grasos poliinsaturados (PUFAS en inglés o AGPI en español) son llamados

Figura 1
Esquema de un triacilglicérido



ácidos grasos esenciales, porque el organismo humano no es capaz de sintetizarlos. Estos PUFA's están formados principalmente por el ácido linoleico origen de la familia (n-6) y el ácido alfa linolénico, origen de la familia (n-3).² También se les identifica como familias ω -3 y ω -6, estas notaciones indican el carbono donde se encuentra ubicada la primera doble ligadura cuando se enumeran a partir del último carbono. Son biotransformados por el organismo humano a base de elongaciones y desaturaciones en compuestos de 20 y 22 carbonos con múltiples insaturaciones que finalmente dan origen a compuestos con funciones altamente especializadas como son las prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos.^{3,4} Sus funciones incluyen capacidades diversas, como estimular la contracción del músculo liso del útero, bronquios y otros órganos; modular la respuesta inflamatoria y los procesos de coagulación sanguínea, entre otras funciones.^{3,5} Es interesante mencionar que estas familias de lípidos tienen funciones complementarias; así, mientras los derivados de la familia n-6 globalmente tienen efectos proinflamatorios, los de la familia n-3 tienen efectos antiinflamatorios. Este balance es una de las determinantes del papel que tienen estos lípidos para disminuir o aumentar el riesgo cardiovascular. De lo anterior se colige la importancia que tiene mantener un balance adecuado en el consumo de ácidos grasos n-6 y n-3.

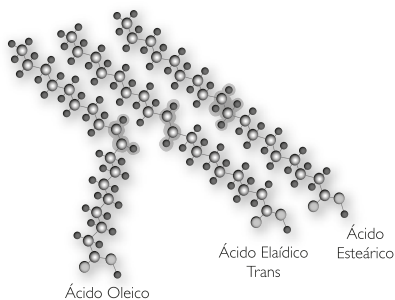
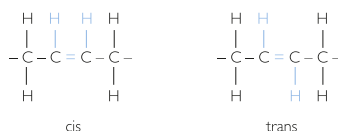
Los ácidos grasos trans

La configuración espacial de la molécula de los ácidos grasos tiene una característica llamada isomerismo geométrico, en donde las configuraciones pueden ser *cis* o *trans*. Los AG que ocurren en la naturaleza tienen en su mayoría configuración *cis* y muy pocos configu-

ración trans. Los carbonos con dobles ligaduras en la posición cis tienen dos átomos de hidrógeno unidos del mismo lado respecto a la doble ligadura, mientras que en la configuración trans, los átomos de hidrógeno están colocados en lados opuestos respecto a la doble ligadura (figura 2).¹ Lo anterior hace que la cadena de carbonos en los trans adopte una configuración lineal, en contraste con la configuración angulada de los cis como se demuestra en la figura 2, lo cual cambia la funcionalidad de la molécula. Algunas dobles ligaduras migran en la cadena del ácido graso, formando nuevas familias de AG tanto cis como trans, por ejemplo ω -9 o ω -11.¹

Los ácidos grasos insaturados que contienen al menos una doble ligadura en configuración trans se presentan de manera natural o pueden producirse de manera industrial mediante el calentamiento de aceites vegetales en presencia de catalizadores metálicos y de hidrógeno y pueden llegar a ser cerca de 60% de un producto. Este cambio en la configuración produce una rigidez en la cadena del ácido graso lo cual se traduce en que la grasa que lo contiene aumenta su punto de fusión, manteniéndose en estado sólido a temperatura ambiente. El proceso también destruye los ácidos grasos

Figura 2
Configuración de los ácidos grasos cis y trans



linoleico y *linolénico*, mismos que se oxidan más fácilmente y con ello producen rancidez en la grasa.² Ambas características de los ácidos grasos trans tienen ventajas industriales, como mejor consistencia, palatabilidad y mayor vida de anaquel del producto alimenticio. El uso casero de aceites para frituras no genera la producción de ácidos grasos trans (AGT). El *ácido eláidico* (18:1t9) es el AGT más abundante en las grasas industrializadas.⁶

Algunas grasas insaturadas ingeridas por los rumiantes son hidrogenadas parcialmente por bacterias en el rumen; como consecuencia, la grasa de la leche, los lácteos y la grasa de la carne de rumiantes contienen ácidos grasos trans, aunque en pequeñas proporciones respecto a la proporción de los cis (2-9%).⁷ También existen pequeñas cantidades de ácidos grasos trans en el pollo y el cerdo, derivados de los alimentos que consumen. En los rumiantes los principales ácidos grasos trans son el *vaccénico* (18:1 t 11) y el *ácido linoleico conjugado*.⁷

Funciones de los lípidos

Los lípidos son elementos necesarios para la vida, tienen funciones *orgánicas* como reservorio y vehículos de energía; *estructurales* como componentes de las membranas celulares; y *funcionales* como vitaminas, hormonas o elementos de reconocimiento celular.¹

La membrana celular está formada por fosfolípidos, colesterol y otros ácidos grasos formando una doble capa fluida en la cual, la porción fosfatídica de los fosfolípidos queda orientada hacia las caras interna y externa de la membrana y la porción lipídica queda orientada en el centro de la membrana. Estas ubicaciones permiten la solubilidad en agua de los compuestos que están en contacto con ellas.⁵ Varias moléculas derivadas de los esteroides y PUFAS tienen funciones como hormonas, tal es el caso de los glucocorticoides y las hormonas sexuales, prostaglandinas, leucotrienos y tromboxanos.^{1,3}

La grasa en la dieta mexicana

Según los datos de la Encuesta Nacional de Nutrición de 1999 (ENN-99), el consumo dietético de grasa en mujeres mexicanas corresponde a 31% de la energía consumida en un día.⁸ Este porcentaje es ligeramente

mayor que el recomendado internacionalmente de 30 por ciento. El 37.5% de los ácidos grasos de los lípidos totales de la dieta son saturados, 35.4% monoinsaturados, 27% poliinsaturados y 4% colesterol. Los alimentos que contribuyen en mayor proporción a la ingestión de grasa en la dieta de las mujeres mexicanas son los siguientes: 36.9% proviene de alimentos de origen animal (leche, huevo y carne), 15.5% de productos de maíz, 15.7% de aceites vegetales para cocinar y otras grasas vegetales y 10.6% del pan de trigo; lo anterior suma 80% del total de las grasas de la dieta.⁸

Los ácidos grasos y su efecto en la salud

La asociación directa entre los ácidos grasos saturados (AGS) y el riesgo de padecer enfermedad cardiovascular, así como la relación inversa entre los ácidos grasos poliinsaturados y el riesgo cardiovascular son conocimientos que han tenido consecuencias programáticas.⁹ Tales conocimientos están basados en estudios epidemiológicos y en estudios experimentales, donde se han comparado los efectos de las dietas que contienen dichos ácidos grasos sobre las lipoproteínas del suero, cuyas concentraciones son aceptadas como indicadores de riesgo cardiovascular.¹⁰⁻¹² Recientemente se han producido avances en el conocimiento de esta relación, los cuales permiten identificar asociaciones entre el consumo de ácidos grasos individuales con el nivel de riesgo cardiovascular^{10,13,14} y descubrir otros factores de riesgo no identificados previamente como es el caso de los ácidos grasos trans.¹² En las siguientes secciones, se resume la asociación que tienen diversos grupos de ácidos grasos con el riesgo cardiovascular.

Ácidos grasos saturados y salud

El consumo elevado de la mayor parte de los ácidos grasos saturados, específicamente los de cadena entre 12 a 16 átomos de carbono, exceptuando al esteárico, incrementa las concentraciones de colesterol LDL, colesterol total y en menor grado, de colesterol HDL, resultando en un balance negativo para la salud ya que aumenta la relación de colesterol LDL/colesterol HDL.¹³⁻¹⁵ Esta relación es un indicador más específico de riesgo cardiovascular. Ciertamente, los AGS aumentan el riesgo cardiovascular en una relación dosis/res-

puesta, pero el nivel de riesgo varía dependiendo de cada ácido graso individual.¹⁴ Así, el ácido láurico aumenta notablemente el colesterol total aumentando también el colesterol HDL; consecuentemente, los aceites ricos en ácido láurico disminuyen la tasa de colesterol total/colesterol HDL.¹⁶ Los ácidos grasos mirístico y palmítico, tienen poco efecto sobre dicha tasa debido a que elevan tanto LDL como HDL, en cambio, el ácido esteárico no modifica la tasa LDL/HDL.¹⁴ Debido a ello, los alimentos que contienen proporciones altas de AGS de menor riesgo deben ser preferidos o recomendados en relación con los que contienen proporciones altas de AGS de mayor riesgo. Los alimentos modificados industrialmente son los que con mayor frecuencia acumulan AGS de riesgo alto, especialmente cuando estos ácidos grasos saturados se han utilizado para sustituir los ácidos grasos trans de los alimentos industrializados.⁶

Ácidos grasos mono y poliinsaturados (PUFAS) y salud

Cuando se reemplaza en la dieta a los ácidos grasos saturados o a los ácidos grasos trans por grasas mono o poliinsaturadas procedentes de aceites vegetales, las concentraciones plasmáticas de colesterol LDL y por lo tanto la tasa LDL/HDL disminuyen.¹⁷ El ácido oleico es quizá el ácido graso monoinsaturado que reduce de manera más importante el riesgo cardiovascular.^{17,18} Está contenido principalmente en el aceite de oliva, mismo que en México tiene un consumo bajo debido a su alto costo. Recientemente se han introducido al mercado aceites con alto contenido de oleico (casi 80%), aunque son más caros que los de maíz o ajonjolí, su precio es mucho más viable para su uso diario que el de oliva. La familia n-3 de los PUFAS tiene un efecto protector para riesgo cardiovascular, principalmente porque disminuye las concentraciones de triglicéridos del plasma, pero tiene poco efecto sobre las concentraciones de colesterol, tanto LDL como HDL.¹⁷

La inflamación crónica de baja intensidad, la reactividad vascular y la agregación de plaquetas, son algunos de los mecanismos que aumentan el riesgo cardiovascular; tales procesos están relacionados con el equilibrio que guardan el consumo de ácidos grasos linoleico (n-6) y alfa linoléico (n-3).¹⁸ Para reducir el riesgo cardiovascular se recomienda que la ingestión diaria de PUFAS n-6 sea entre el 5-8% y la de n-3 sea

de 1-2% de la energía de la dieta.^{19,20} Esta recomendación equivale a una ingestión diaria de ácido linoleico de aproximadamente 17 g/d para el hombre adulto y de 12 g/d para la mujer adulta, acompañada de una ingestión diaria de ácido alfa-linoléico de 1.6 y 1.1 g/d, respectivamente, correspondiendo a una relación n-6/n-3 entre 5:1 a 10:1.²¹ La dieta habitual en México tiene una relación n-6/n-3 de 36:1 debido al consumo alto de ácido linoleico y muy bajo de linoléico según datos no publicados de la ENN-99.

En la revisión publicada por Simopoulos en 2002,²² se encuentra que una ingestión alta de PUFAS n-6 y una tasa alta de n-6/n-3 favorece el desarrollo de enfermedad cardiovascular, ciertos tipos de cáncer y de enfermedades inflamatorias y autoinmunes; mientras que una mayor ingestión de PUFAS n-3 y una tasa baja de n-6/n-3 tienen un efecto protector. Una tasa n-6/n-3 4:1 se asocia con una disminución de 70% en la mortalidad total en la prevención secundaria de enfermedad cardiovascular. Una tasa de 2.5:1 reduce la proliferación celular en pacientes con cáncer. Entre más baja fue la tasa n-6/n-3 en mujeres, el riesgo para cáncer de mama fue más bajo. Una tasa de 2-3:1 redujo la inflamación en pacientes con artritis reumatoide y una tasa de 5:1 tuvo un efecto benéfico en pacientes con asma, mientras que una tasa de 10:1 tuvo consecuencias adversas.²²

Ácidos grasos trans y salud

La ingestión de ácidos grasos trans se asocia con uno de los riesgos más altos de sufrir enfermedad cardiovascular, inclusive mayor al de los ácidos grasos saturados.²³ La consecuencia de un consumo alto de AGT es el aumento en la sangre de la lipoproteína de baja densidad LDL asociada con alto riesgo cardiovascular y con una disminución de la lipoproteína de alta densidad HDL, protectora contra el riesgo cardiovascular.²³ Lo anterior altera la relación de colesterol LDL/colesterol HDL por doble vía multiplicando el riesgo cardiovascular.^{24,25} Además, el consumo de AGT aumenta los triacilgliceroles, la lipoproteína Lp(a) y las subfracciones de LDL densa y pequeña,²⁶ todos ellos asociados con mayor riesgo cardiovascular y con alteraciones en la función de las arterias incluyendo una mayor frecuencia de enfermedad coronaria.^{24,27,28} Teóricamente altera la composición de las células del miocardio y probablemente de otras células, afectando

la función de los canales iónicos.²⁹ Los AGT compiten con los ácidos grasos n-3 y n-6 por las mismas enzimas que los elongan y los desaturan para producir sus moléculas funcionales.

Los AGT se encuentran en las grasas parcialmente hidrogenadas que se utilizan para freír, como ingredientes en panadería, repostería y producción de galletas. La razón de la industria para producir ácidos grasos trans es que son más estables cuando se usan como grasa para cocinar y dan mejor textura y sabor en donas, betún o relleno de pastelillos y otros alimentos. Los productos que los contienen más frecuentemente son panificados (pan dulce, bolillo, galletas, pastelillos), comida rápida frita (hamburguesas, papas a la francesa, pollo), botanas (papas, chicharrones, frituras de maíz), margarinas y otras grasas untables.

En 1998, la dieta típica norteamericana contenía 34% de la energía como grasa total, 12% como grasa saturada y de 5-8% de AGT;³⁰ sin embargo, estas proporciones en el consumo están aumentando considerablemente. En México, a pesar de que no se tienen mediciones precisas, se ha estimado que el consumo de AGT podría ser de 0.9 por ciento. Las fuentes potenciales serían pan dulce, margarinas, galletas industrializadas, botanas, leche y comida rápida.

Lectura 7: Química del carbono. Propiedades químicas de alquenos

Ficha de referencia

Cruz J., et al. (2018). *Química del carbono. Un enfoque en competencias*. Dirección General de Escuelas Preparatorias. Sinaloa, México. pp 100-107.

Disponible en

[http://dgep.uas.edu.mx/librosdigitales/2do SEMESTRE/14 Quimica del Carbono.pdf](http://dgep.uas.edu.mx/librosdigitales/2do_SEMESTRE/14_Quimica_del_Carbono.pdf)

Sinopsis

El texto explica con detalle las reacciones de adición que se llevan a cabo en los alquenos, entre las que destacan: hidrogenación, hidrohalogenación y la hidratación. También explica la regla de Markovnikov para identificar el carbocatión más estable.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: A10. (C) Comprende que las reacciones de obtención de hidrocarburos saturados e insaturados, se llevan a cabo a través de los procesos de adición y eliminación de átomos de hidrógeno.

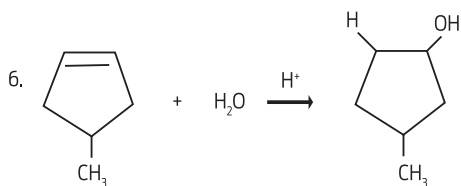
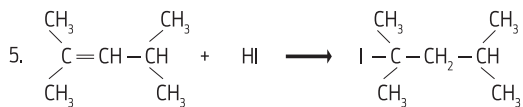
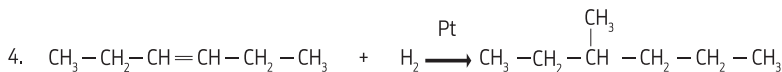
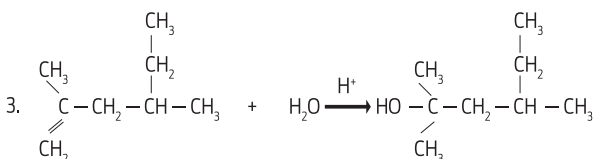
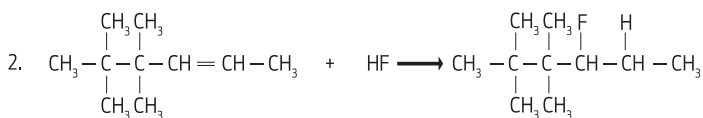
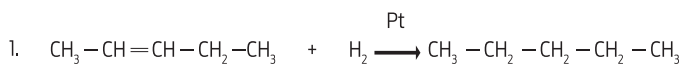
Justificación. El texto apoya al alumno a clasificar algunas ecuaciones de adición de los alquenos a partir del análisis de los reactivos y los catalizadores que participan en éstas. El texto también atiende el propósito de la Unidad 1 al explicar el comportamiento de los alquenos mediante el análisis de su estructura, en este caso de los dobles enlaces.

Descripción de la actividad

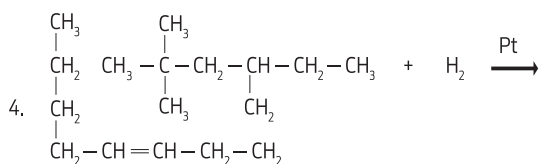
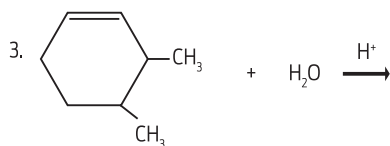
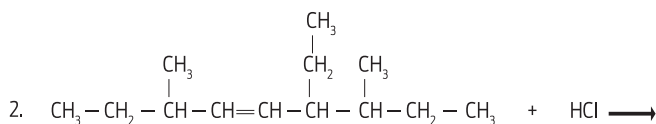
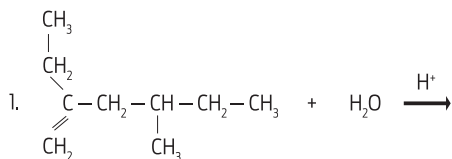
1. Con base en el texto los alumnos deberán realizar los siguientes ejercicios en parejas.
 - a) Con esferas de unicel (negras para el carbono, blancas para el hidrógeno) y palillos; elaboren el modelo del eteno, y después conviértanlo en etano y describan lo que tuvieron que hacer para concretar el proceso.
 - b) Con ayuda del texto completa la tabla de la siguiente página:

Tipo de reacción de alquenos	Reactivo además del alqueno	Catalizador	Ejemplo de ecuación
Hidrogenación			
Hidrohalogenación			
Hidratación			

- c) Con ayuda de su tabla anterior clasifiquen las siguientes ecuaciones en reacciones de adición de: hidrogenación, hidrohalogenación o de hidratación. Al finalizar coloca el nombre a cada fórmula de las estructuras que están tanto en reactivos como en productos.



d) Propongan los productos de las siguientes ecuaciones:



2. Después de concluir los ejercicios, promover la participación de los equipos en el pizarrón para analizar el cuadro y las respuestas a las ecuaciones.

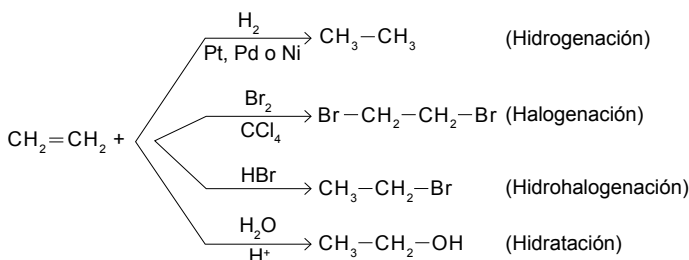
Nota para el profesor

Se sugiere que esta actividad se trabaje en parejas y después se revisen las respuestas en plenaria, fomentando la participación de los alumnos en el pizarrón. También se le puede pedir a los alumnos que en el ejercicio 4, pongan el nombre a las estructuras para que practiquen la nomenclatura de estructuras orgánicas.

Propiedades químicas de alquenos

Contra lo que podría suponerse, el doble enlace constituye la región más débil de la molécula y por tanto, la parte más fácil de romperse en presencia de sustancias reactivas dando productos de adición. Se dice entonces que el doble enlace es el sitio más reactivo de un alqueno.

Las reacciones de adición son características de los alquenos, entre ellas destacan las de hidrogenación, halogenación, adición de hidrácidos halogenados (hidrohalogenación) y la hidratación.



a) Hidrogenación catalítica (síntesis de alcanos)

Estas hidrogenaciones se realizan en presencia de un catalizador que puede ser platino, paladio o níquel, en forma de polvo. En este tipo de reacciones se llevan a cabo

rupturas homolíticas en los enlaces pi (π), dando lugar a enlaces sigma (σ). La adición catalítica de hidrógeno gaseoso a un alqueno da lugar a un alcano.

A nivel submicroscópico podemos decir, que la molécula de eteno sufre una ruptura homolítica en el enlace pi (π) y el catalizador ayuda a que la molécula de hidrógeno rompa su enlace sigma (σ) y los átomos de hidrógeno se adicionen a la estructura molecular, dando lugar a la molécula de etano.

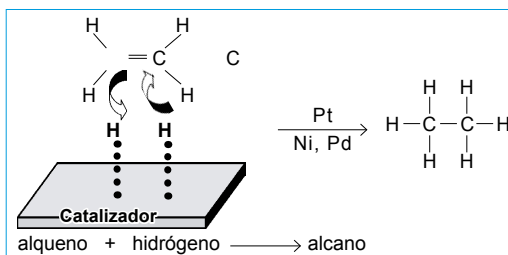
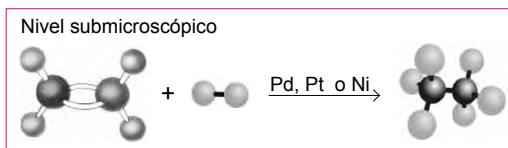
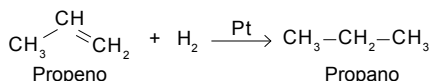


Fig. 2.6 Reacción general de adición de hidrógeno a un alqueno.

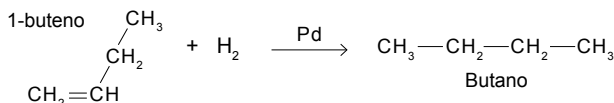


Ejemplos:

1. Si llevamos a cabo la hidrogenación catalítica del propeno se obtendrá propano.



2. Al llevar a cabo la hidrogenación del 1-buteno se forma butano.



- b) Halogenación de alquenos (síntesis de derivados dihalogenados)

Una prueba común de laboratorio para detectar la presencia de un doble o triple enlace en un compuesto, consiste en hacer reaccionar dicho compuesto con una disolución diluida de bromo en tetracloruro de carbono (CCl_4). Este reactivo tiene un color café rojizo.

La decoloración de una disolución de Br_2/CCl_4 por un compuesto desconocido es una prueba que sugiere la presencia de un doble o triple enlace, pero no es una prueba definitiva, debido a que otros compuestos, tales como aldehídos, cetonas y fenoles también decoloran las disoluciones de Br_2/CCl_4 .

Habría que tener en cuenta que ni el F_2 ni el I_2 son reactivos útiles en las reacciones de adición de los alquenos, ya

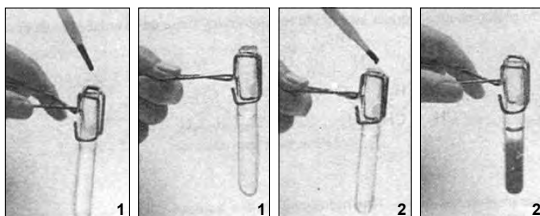
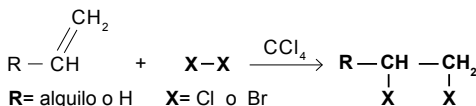


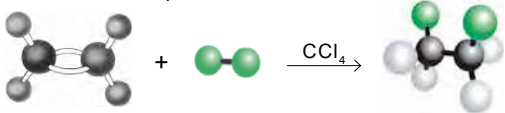
Fig. 2.7 Al agregar bromo al alqueno en el primer tubo desaparece de inmediato el color rojizo, ya que los átomos de bromo se adicionan al doble enlace. En el segundo tubo el color rojizo permanece porque el bromo reacciona muy lentamente con el alcano.

que el flúor reacciona violentamente con los compuestos orgánicos y el yodo es termodinámicamente desfavorable, porque su reacción es endotérmica.

Ecuación general para la adición de un halógeno a un alqueno.



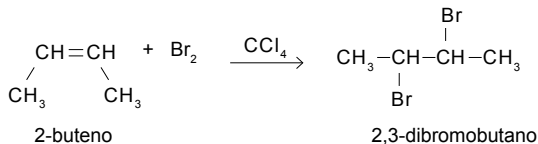
Nivel submicroscópico



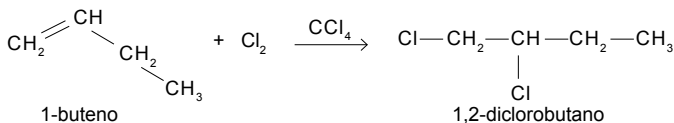
a que la molécula de bromo rompe su enlace sigma (σ) y los átomos de bromo se adicionan a la estructura molecular, dando lugar a la molécula de 1,2-dibromoetano.

Ejemplos:

1. La siguiente ecuación representa la formación del 2,3-dibromobutano a partir del 2-buteno.



2. La siguiente ecuación representa la formación del 1,2-diclorobutano a partir del 1-buteno es:



c) Hidrohalogenación (adición de hidrácidos halogenados)

Los halogenuros de hidrógeno, **HX** (HI, HCl, HBr, HF), conocidos también como hidrácidos halogenados, se adicionan a los enlaces pi (π) de los alquenos para producir halogenuros de alquilo conocidos también como derivados halogenados.

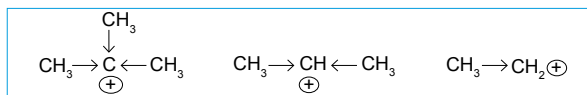
Se recomienda burbujear HX gaseoso a través del alqueno, porque las disoluciones acuosas concentradas de halogenuros de hidrógeno (**HX**) dan mezclas de productos debido a que el agua también puede adicionarse al doble enlace.

La reacción de hidrohalogenación se ajusta a la **regla de Markovnikov**:

“En las adiciones de HX a alquenos asimétricos, el H⁺ del HX se une al carbono del doble enlace que tenga el mayor número de hidrógenos”.

Markovnikov formuló su regla basándose en observaciones experimentales, pero la explicación teórica tiene que ver con la formación de los carbocationes más estables.

El carbocatión más estable siempre será el más sustituido, porque la carga positiva tiende a ser estabilizada por los grupos unidos a esta polarización se le conoce como efecto inductivo.



El orden de estabilidad de los carbocationes es: 3ario > 2ario > 1ario

La adición de un reactivo a un alqueno asimétrico procede a través del carbocatión más estable, esta es la razón de que se cumpla la regla de Markovnikov.

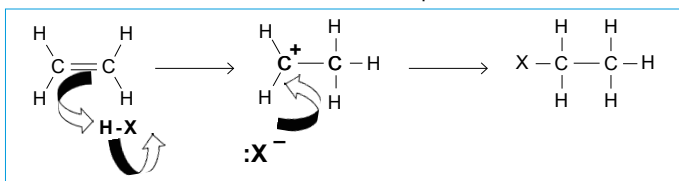
¿Quién fue...?

Vladimir Vasilievich Markovnikov (1838-1904) fue un químico ruso especializado en química orgánica el cual dedujo la regla empírica que permite predecir el producto principal de la adición de un reactivo no simétrico a un alqueno con un doble enlace no simétrico. Esta regla lleva su nombre y fue establecida mucho antes del descubrimiento del electrón y el uso de conceptos como iones carbonio y carbanio.

Markovnikov entre otras cosas destacó por sus estudios sobre la química del petróleo y su descubrimiento del ácido isobutírico.



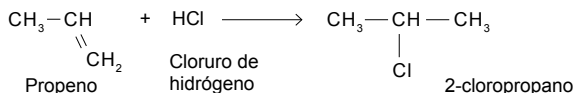
Mecanismo de reacción de la adición de HX a un alqueno



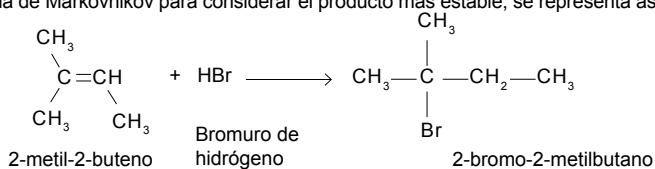
Descripción: En el paso 1, el protón H^+ se adiciona al alqueno formándose el carbocatión y en el paso 2, se une el halogenuro X^- al carbocatión para formar el derivado halogenado.

Ejemplos:

1. La ecuación que representa la reacción de adición entre el propeno y el cloruro de hidrógeno, tomando en cuenta la regla de Markovnikov para considerar el producto más estable, es la siguiente:



2. La hidrohaleogación del 2-metil-2-buteno con el bromuro de hidrógeno, tomando en cuenta la regla de Markovnikov para considerar el producto más estable, se representa así:



Lectura 8: Síntesis y regulación de compuestos del aroma y sabor derivados de la levadura en la cerveza: ésteres

Ficha de referencia

Claudi L. Loviso, Diego Libkind (2018). Síntesis y regulación de compuestos del aroma y el sabor derivados de la levadura en la cerveza: ésteres. *Revista Argentina de Microbiología*. 50 (4), p. 436-446.

Disponible en

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754117301864>

Sinopsis

El artículo explica la importancia de la síntesis de ésteres de manera biológica para dar sabor y olor a la cerveza. Detalla las

reacciones por las que se obtiene, los requisitos de la reacción y las variaciones que se pueden tener.

Ubicación en el programa

Unidad 1. El petróleo recurso natural y fuente de compuestos de carbono para la industria química.

Aprendizaje: A16. (C, H) Comprende que las reacciones de condensación permiten obtener ésteres y amidas con la liberación de moléculas de agua, al predecir y representar reacciones de importancia industrial. Aplicará la nomenclatura de la IUPAQ. (N3)

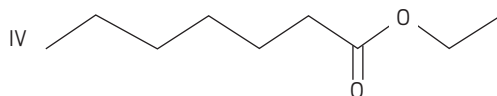
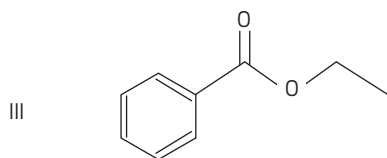
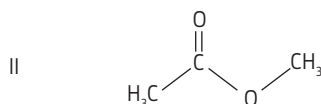
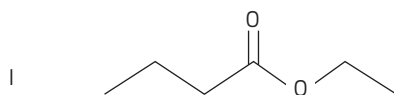
Justificación: El artículo permite dar al alumno una visión integradora de la síntesis de ésteres, explica con detalle la importancia biológica en la producción de cerveza. Contribuye al propósito de la unidad al explicar el comportamiento de compuestos orgánicos valorando su impacto económico y social. Además de ello permite recordar algunos conceptos vistos en las asignaturas de Biología.

Descripción de la actividad

1. Los alumnos pueden leer el texto en pequeños grupos a fin de generar un punteo de ideas, haciendo énfasis en las reacciones que se indican y los requerimientos de ellas.
2. El docente permite que los alumnos intercambien las

ideas punteadas con otro grupo, para recibir retroalimentación.

3. Los alumnos realizan el siguiente cuestionario apoyándose de las ideas punteadas.
 - a) ¿Cuáles son los ésteres más importantes para el flavor de la cerveza?
 - b) ¿Qué importancia tiene la concentración de cada uno de los ésteres?
 - c) ¿Qué factores afectan a la síntesis biológica de ésteres? ¿Cómo actúan?
 - d) ¿Qué función realizan las enzimas dentro de la reacción de síntesis de ésteres? Da un ejemplo.
 - e) Con base en lo leído, y/o investigado por tu cuenta, ¿qué se requiere para hacer una buena cerveza? Explica los factores biológicos y químicos
 - f) Escribe las ecuaciones con los reactivos necesarios y las condiciones adecuadas para producir en el laboratorio los siguientes ésteres: isoamil acetato, isobutil acetato, feniletil acetato, etil acetato, etil hexanoato, etil octanoato.
 - g) Nombra los siguientes ésteres usando la nomenclatura IUPAQ.
4. El docente puede promover un debate en donde los alumnos desarrollen habilidades de argumentación con la pregunta ¿Qué se requiere para tener una buena cerveza?



Nota para el profesor

Enfatizar en la reacción de síntesis de ésteres y el agua como subproducto. Por otra parte, es necesario considerar el nivel del grupo, en caso necesario el docente puede dar información extra o los alumnos realizar una investigación en donde retomen información de la asignatura de Biología elaborando un glosario. Es posible usar una aplicación de trabajo colaborativo como Blogger.

REVISTA ARGENTINA DE
MICROBIOLOGÍA

www.elsevier.es/ram



ARTÍCULO ESPECIAL

Síntesis y regulación de compuestos del aroma y el
sabor derivados de la levadura en la cerveza: ésteresClaudia L. Loviso^a y Diego Libkind^{b,*}^a Centro para el Estudio de Sistemas Marinos, CONICET, Puerto Madryn, Argentina^b Laboratorio de Microbiología Aplicada, Biotecnología y Bioinformática de Levaduras, Instituto Andino Patagónico de Tecnologías Biológicas y Geoambientales (IPATEC), CONICET - Universidad Nacional del Comahue, Bariloche, Argentina

Recibido el 16 de mayo de 2017; aceptado el 14 de noviembre de 2017

Disponible en Internet el 5 de abril de 2018

PALABRAS CLAVE

Flavor;
Ésteres;
Levaduras cerveceras

KEYWORDS

Flavour;
Esters;
Brewing yeast

Resumen Las levaduras, durante el proceso de elaboración de cerveza, producen más de 500 compuestos químicos; estos pueden impactar tanto negativa como positivamente en las características organolépticas de la cerveza. En los últimos años, y en particular gracias al avance de la biología molecular y la genómica, se han logrado progresos notables en el conocimiento de las bases moleculares y celulares de la síntesis y regulación de muchos de estos compuestos que inciden en lo que se denomina *flavor* (aroma y sabor) de la cerveza. Este artículo está enfocado en los ésteres responsables del aroma y el sabor floral y frutado de la cerveza. La formación de estos ésteres depende de diversas enzimas y de factores como la concentración de nutrientes presente en el mosto, la cantidad de oxígeno y dióxido de carbono disueltos, la temperatura de fermentación y, principalmente, la genética de la levadura utilizada. En esta revisión se brinda información de cómo se originan los ésteres y cómo los diferentes parámetros fermentativos impactan en las concentraciones finales de estos compuestos y en la calidad del producto terminado.

© 2018 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Asociación Argentina de Microbiología. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

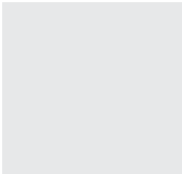
Synthesis and regulation of flavor compounds derived from brewing yeast: Esters

Abstract During brewing process yeast produce more than 500 chemical compounds that can negatively and positively impact beer at the organoleptic level. In recent years, and particularly thanks to the advancement of molecular biology and genomics, there has been considerable progress in our understanding about the molecular and cellular basis of the synthesis and regulation of many of these flavor compounds. This article focuses on esters, responsible for the

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: libkindd@comahue-conicet.gov.ar (D. Libkind).

<https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.11.006>0325-7541/© 2018 Los Autores. Publicado por Elsevier España, S.L.U. en nombre de Asociación Argentina de Microbiología. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



floral and fruity beer flavor. Its formation depends on various enzymes and factors such as the concentration of wort nutrients, the amount of dissolved oxygen and carbon dioxide, fermentation temperature and mainly the genetics of the yeast used. We provide information about how the esters originate and how is the impact of different fermentative parameters on the final concentrations of these compounds and the quality of the end product.
© 2018 The Authors. Published by Elsevier España, S.L.U. on behalf of Asociación Argentina de Microbiología. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

Durante la producción de cerveza, junto con la formación de dióxido de carbono y etanol, se genera una amplia variedad de compuestos de vital importancia para lo que comúnmente se conoce como *flavor*, es decir, el sabor y el aroma. Entre ellos, los ésteres conforman el grupo de compuestos que inciden de manera significativa en la calidad sensorial del producto final^{42,57,66}. En cerveza se han detectado más de 100 ésteres diferentes^{14,45}. Los más relevantes, generados por las levaduras a través de su metabolismo secundario, pueden dividirse en dos grupos principales: ésteres de acetato, tales como etil acetato, isoamil acetato y feniletil acetato, y ésteres de etilo, como etil hexanoato y etil octanoato. Ambos grupos en conjunto son deseables en la mayoría de las cervezas del tipo Ale (cervezas de fermentación alta), dado que aportan aromas y sabores florales/frutales y contribuyen a su característica complejidad de aroma y sabor. Mayormente, estos ésteres se encuentran en concentraciones cercanas al nivel umbral, lo cual implica que pequeños cambios en su concentración podrían afectar el aroma y sabor de la cerveza (tabla 1). Algunos ésteres en concentraciones muy altas aportan aromas y sabores indeseados (p.ej., acetato de etilo: solvente). Además, la presencia de diferentes ésteres puede tener un efecto sinérgico e influir en la percepción sensorial general, a pesar de que sus concentraciones individuales estén por debajo del umbral^{18,84}. Es por esto que los niveles de estos compuestos deben mantenerse dentro de ciertos límites de concentración, a fin de evitar desbalances que den lugar a cervezas con

características indeseables^{11,22,36}. De aquí surge la necesidad de entender y controlar su formación, para brindar productos con características reproducibles que cumplan con las exigencias y preferencias de los consumidores.
Los ésteres generados por las levaduras se producen por reacción enzimática entre un ácido orgánico y un alcohol. Investigaciones en el campo de la genética y proteómica de levaduras han permitido conocer más en detalle las propiedades de los genes y las enzimas involucradas en la biosíntesis de ésteres, así como también su regulación frente a diferentes factores^{33,34,53,74,85}. En el presente trabajo se realizará una revisión sobre el papel de cada una de estas enzimas en la síntesis de ésteres de acetato y de etilo durante la elaboración de cerveza. Asimismo, se describirá cómo varía la actividad de dichas enzimas y la concentración de estos compuestos frente a diferentes parámetros tecnológicos asociados a las condiciones de fermentación, la composición del mosto y las características de las levaduras. Se espera que la información presentada a continuación ayude a comprender en profundidad el proceso de formación de los ésteres por parte de las levaduras y sirva de guía, sobre todo para los productores de cerveza, al momento de aplicar estrategias de control y ajuste del sabor y aroma en sus cervezas.

¿Cómo se generan los ésteres?

La formación de ésteres se produce durante la fermentación primaria y se encuentra altamente asociada al metabolismo de lípidos y al crecimiento de las levaduras. Estos compuestos son sintetizados en el citoplasma a partir de reacciones catalizadas por enzimas acil transferasas (o éster sintasas), en las que se requiere acil-CoA como cosustrato^{42,64}. La mayor parte del acil-CoA requerido es generado por descarboxilación oxidativa del piruvato, dando lugar a acetil-CoA, mientras que el resto del acil-CoA es formado por la acilación entre ácidos grasos y coenzima A (CoA) libre⁶⁰ (fig. 1).
En ausencia de oxígeno, la reacción entre acetil-CoA y un alcohol (etanol o alcoholes superiores) permite la formación de ésteres de acetato, como etil acetato, isoamil acetato, isobutil acetato y feniletil acetato, mientras que la combinación entre las largas cadenas de acil-CoA y etanol produce etil ésteres^{57,60}. Entre estos últimos, el etil hexanoato y el etil octanoato son de gran importancia para la obtención de cervezas balanceadas en cuanto a perfiles aromáticos.

Tabla 1 Ésteres más relevantes en el <i>flavor</i> de la cerveza sintetizados por las levaduras		
Compuesto	Valores umbrales (mg/l)	Descripción aromática
Etil acetato	30	Solvente, frutado
Isoamil acetato	1,2	Banana
Isobutil acetato	0,5	Frutado
Feniletil acetato	0,3	Rosas, miel
Etil hexanoato	0,21	Manzana, anisado
Etil octanoato	0,9	Manzana, pera, banana, ananá, floral, frutado
Fuente: Engan ¹⁴ .		

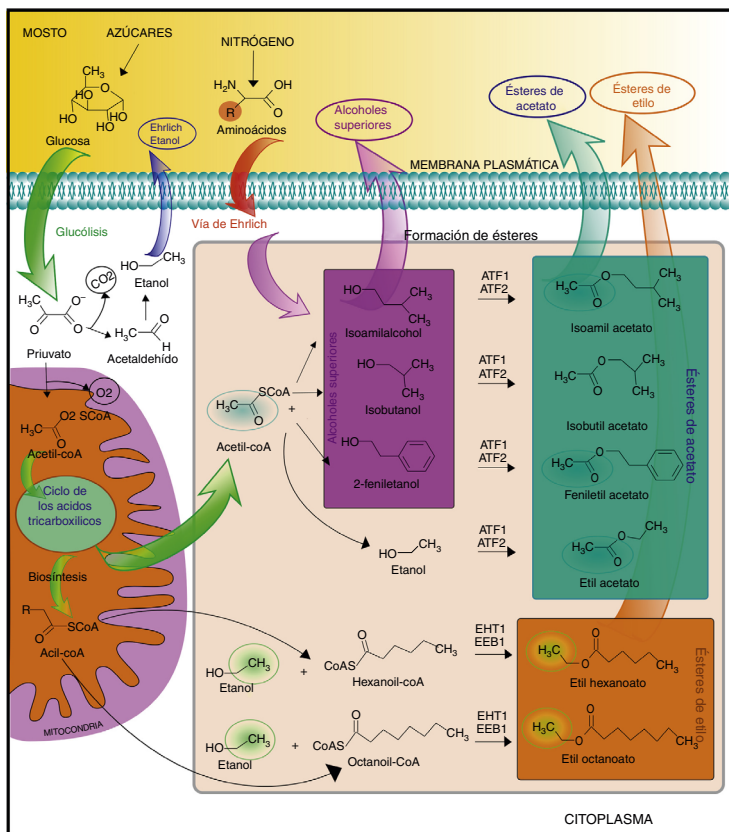


Figura 1 Esquema de las principales rutas metabólicas involucradas en la síntesis de ésteres dentro de las levaduras.

Una vez sintetizados dentro de la célula, por su carácter lipofílico, los ésteres pueden difundir a través de la membrana celular para ser liberados al medio de fermentación. A diferencia de los ésteres de acetato, que son excretados rápidamente y casi en su totalidad, la transferencia al medio de los ésteres de etilo disminuye a medida que aumenta el tamaño de esa molécula⁶⁴. El etil hexanoato es liberado en un 100%, mientras que este porcentaje puede llegar hasta un 68 y un 17% para el etil octanoato y el etil decanoato, respectivamente.

Los primeros modelos sobre la síntesis de ésteres se basaron en la disponibilidad de sustratos como factor determinante para su formación^{9,78}. Sin embargo, varios trabajos demostraron que las enzimas que catalizan la

formación de estos compuestos también cumplen un rol central.

Enzimas y genes involucrados en la formación de ésteres de acetato

Las enzimas alcohol acetil transferasas I y II (AATasa I y II), codificadas por los genes *atf1* y *atf2*, respectivamente, son las responsables de la formación de ésteres de acetato (fig. 1). Los genes *atf1* y *atf2* han sido identificados en el genoma de levaduras de tipo Ale (*Saccharomyces cerevisiae*) y Lager (*Saccharomyces pastorianus*)^{15,25,67,90}. Las levaduras de tipo Lager son híbridos en los que una parte de su genoma

proviene de *S. cerevisiae* y la otra de una especie denominada *Saccharomyces eubayanus*, la cual se encuentra adaptada al frío³⁸. Por estas características, las levaduras Lager pueden presentar dos genes por cada AATasa, dos correspondientes al subgenoma de *S. cerevisiae* (denominados genes *atf1* y *atf2*) y el resto al subgenoma de *S. eubayanus* (genes *Lgatf1* y *Lgatf2*).

Existe una fuerte correlación entre la expresión (proceso donde se transforma la información genética en proteínas y enzimas) de estos genes y los niveles de ésteres de acetato producidos^{65,85,91,96}. Particularmente, en ensayos en los que se aumentó la expresión de genes *atf1*, *atf2* y *Lgatf1* en levaduras cerveceras hubo un incremento significativo en la producción de etil acetato e isoamil acetato, lo que sugiere que los genes *atf* son relevantes en la síntesis de estos compuestos^{85,96}.

Verstrepen et al.⁸⁵ también observaron que *atf1* y *atf2* participan, al menos parcialmente, en la generación de otros ésteres de acetato, entre los cuales se encuentran el isobutil acetato y el feniletil acetato. No obstante, el gen *atf2*, al igual que el gen *Lgatf1*, tendría un rol menor respecto de *atf1*. Por otro lado, las delecciones realizadas en los genes *atf1* y *atf2* prácticamente no permitieron la formación de isoamil acetato ni de feniletil acetato, lo que demuestra que las enzimas codificadas por ambos genes son responsables de la totalidad de la actividad alcohol acetil transferasa involucrada en la generación de ambos compuestos. Además, se ha demostrado que dichas delecciones solo reducen la producción de etil acetato, propil acetato e isobutil acetato hasta un 50%^{39,40,85}, lo cual indica que en la formación de estos ésteres intervienen otras enzimas éster sintasas, aún desconocidas.

Pocos trabajos se encuentran orientados al análisis de la expresión de los genes AATasa durante fermentaciones realizadas en mosto cervecero y a escala semipiloto utilizando levaduras comerciales sin modificar^{25,65}. A pesar de ello, en dichos estudios se encontró que las mayores concentraciones de ésteres de acetato podrían explicarse por los niveles máximos de expresión de los genes *atf1* y *atf2* (niveles de Atf2p menores que Atf1p), en concordancia con los resultados obtenidos a partir de la modificación (sobrexpresión y delección) de estos genes.

La concentración final de los ésteres de acetato también se encuentra influenciada por la presencia de esterasas, un grupo de enzimas hidrolasas que catalizan la ruptura de ésteres o evitan su formación. En particular, la enzima IAH1p cumple un rol relevante en la hidrólisis de isoamil acetato, etil acetato, isobutil acetato y feniletil acetato^{17,41,97}. La cantidad de estos ésteres en sake puede aumentar hasta dos veces cuando se realizan fermentaciones con cepas de levadura comerciales deficientes en el gen *iah1*¹⁷. Acorde con estos resultados, la sobreexpresión del gen *iah1* en la levadura vinica VIN13 también permitió generar vinos con cantidades reducidas de etil acetato, feniletil acetato, isoamil acetato y hexil acetato⁴¹.

En diferentes cepas de levaduras utilizadas comúnmente en la producción de cervezas de trigo, la expresión de *iah1* varía considerablemente, observándose niveles máximos de expresión luego de 36 h de iniciada la fermentación primaria⁷⁰. Asimismo, el aumento en la expresión de *iah1* en dichas cepas se correlacionó con la disminución en la concentración de ésteres de acetato. Esto indica la importancia

de IAH1p en la obtención de niveles balanceados de estos compuestos.

Ésteres de etilo

En cerveza, los ésteres de etilo se encuentran en menor proporción que los ésteres de acetato. Las enzimas que catalizan la formación de ésteres de etilo son las denominadas acil-CoA/etanol o-aciltransferasas. Malcorps y Dufour³⁹ fueron los primeros en brindar evidencias bioquímicas sobre la presencia de enzimas etil alcohol acil transferasas en *S. cerevisiae*. Sin embargo, recién en 2006 fue posible estimar el papel que cumplen dos de ellas, codificadas por los genes *eht1* y *eeb1*⁶⁸. Mediante ensayos de delección de ambos genes utilizando una cepa de *S. cerevisiae*, Saerens et al.⁶⁸ mostraron que estas enzimas contribuyen a la síntesis de etil butanoato, etil hexanoato y etil decanoato. Por otro lado, la presencia de actividad éster sintasa residual luego de la doble delección de estos genes sugirió que otras etil éster sintasas —aún desconocidas— estarían involucradas en la formación de dichos compuestos.

En cuanto a la preferencia de sustratos utilizados por Eeb1p y Eht1p, y por ende a su capacidad de producir uno u otro éster de etilo, diferentes estudios han revelado resultados contradictorios. Proteínas recombinantes Eeb1p y Eht1p purificadas a partir de *Escherichia coli* mostraron preferencia por sustratos de cadena larga (C8) y cadena corta (C4), respectivamente⁶⁸. Sin embargo, en el mismo trabajo esto no se correspondió con lo observado en fermentaciones, donde se utilizó una cepa de *S. cerevisiae* con delecciones en el gen *eeb1*. En este caso se produjo una reducción moderada de la concentración de etil octanoato (45%) respecto de la disminución en los niveles de etil hexanoato (88%). Asimismo, la delección del gen *eht1* dio lugar a niveles de etil butanoato similares a los generados en fermentaciones realizadas con la levadura control (sin modificar), y solo redujo las concentraciones de etil hexanoato y etil octanoato en un 36 y un 20%, respectivamente⁶⁸. Recientemente se logró purificar y caracterizar la enzima EHT1p, pero utilizando una levadura como sistema de expresión. Su sustrato de preferencia fue octanoil-CoA (C8)³¹. No obstante, se necesitan más ensayos a fin de clarificar la especificidad tanto de Eht1p como de Eeb1p en la formación de diferentes ésteres de etilo relevantes para el aroma y el sabor de las cervezas.

Ensayos de sobreexpresión de *eeb1* y *eht1* en los que no se observaron incrementos en la producción de ésteres de etilo dieron indicios de que las enzimas codificadas por estos genes, además de poseer actividad sintasa, tendrían la capacidad de hidrolizar ésteres de etilo⁶⁸. De hecho, ambas enzimas presentan un dominio α - β hidrolasa en su extremo C terminal³¹. Particularmente, en Eht1p se observó actividad tioesterasa con capacidad de hidrolizar acil-CoA de cadena media para generar ácidos grasos libres³¹. Ello refuerza una de las hipótesis previas acerca del principal rol metabólico de enzimas aciltransferasas: recuperar CoA libre a partir de acil-CoA de cadena media, compuestos que en condiciones anaeróbicas se acumulan en el interior de las levaduras⁶⁷. A pesar de que en los últimos años se realizaron avances acerca de la actividad éster sintasa e hidrolasa presente en Eht1p y Eeb1p, aún existen interrogantes acerca de la

regulación y el balance de ambas actividades durante la producción de ésteres de etilo.

Factores que afectan la formación de ésteres

Azúcares del mosto

Un mosto estándar contiene aproximadamente un 90% de hidratos de carbono, entre los cuales se encuentran dextrinas y azúcares como sacarosa, fructosa, glucosa, maltosa y maltotriosa⁷. La concentración y composición en mosto de estos hidratos de carbono, así como la manera en que son utilizados por las levaduras, tienen una influencia directa en su metabolismo y, por lo tanto, en el perfil aromático del producto final. Una práctica común en grandes cervecerías es la producción de cerveza a partir de mostos de alta densidad, es decir, con alta concentración de azúcares, a fin de aumentar la productividad en volumen de cerveza sin aumentar significativamente los gastos energéticos³⁸. La desventaja de esta técnica es que el metabolismo de las levaduras se ve modificado de manera significativa. Varios estudios confirmaron la sobreproducción de ésteres de acetato en medios con alta concentración de hidratos de carbono, dando lugar a cervezas demasiado frutadas y con un notable aroma a solvente (como, por ejemplo, acetona) si no se mantiene un balance adecuado en la oxigenación y contenido de nitrógeno en el mosto^{3,35,43,95}. El incremento en el contenido de hidratos de carbono en mostos utilizados en fermentaciones con levaduras de tipo Lager y Ale puede producir un 25 y un 45% de aumento en los niveles de etil acetato, respectivamente⁶⁶.

Para generar mostos de alta densidad es frecuente adicionar jarabes, por lo que además se debe tener en consideración su composición de azúcares. Dependiendo del azúcar adicionado es posible generar más o menos compuestos del aroma y sabor. Younis y Stewart⁹⁴ reportaron que al utilizar maltosa como única fuente de carbono en medio sintético, los niveles de ésteres como isoamil acetato y etil acetato generados por levaduras Ale y Lager son menores en comparación con medios que contienen únicamente fuentes de carbono más asimilables, como glucosa o fructosa. Posteriormente, los mismos autores demostraron que mostos de alta densidad con un 30% de jarabe de alta maltosa producen una cantidad de ésteres de acetato y alcoholes superiores significativamente menor en comparación con mostos de alta densidad de pura malta⁹³. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Piddocke et al.⁵⁶, quienes observaron que mostos de 21 y 24 °P (correspondientes a densidades iniciales de 1,0874 y 1,1011, respectivamente) suplementados con maltosa provocan una disminución de etil acetato e isoamil acetato respecto de mostos de la misma densidad en los que se adicionó glucosa. La adición de sacarosa, aunque posee un efecto estimulante en la expresión del gen *atf1*, genera menores concentraciones de ésteres de acetato en relación con el agregado de maltosa. Levaduras expuestas a altas concentraciones de sacarosa presentan mayor estrés osmótico que en mostos de otra composición. Es por esto que se aconseja evitar altos niveles de este azúcar con el fin de obtener mostos de alta densidad¹¹.

Varias razones podrían explicar el efecto de los diferentes azúcares asimilables en la producción de ésteres. Una

de ellas es que la fermentación con maltosa podría inhibir el transporte de compuestos volátiles hacia el exterior de la célula, posiblemente por alteración de la membrana plasmática⁹⁴. Otra posibilidad es que, como resultado del metabolismo de la maltosa, se produzcan menores niveles de acetyl-CoA y, por lo tanto, concentraciones menores de ésteres de acetato por falta de sustrato⁵⁶. En el mismo sentido, Younis y Stewart⁹⁴ sugirieron que altos niveles de glucosa incrementan la producción de acetyl-CoA y de ésteres de acetato. Más aún, la expresión de los genes *atf1* y *atf2* es inducida por glucosa a través de una cadena de señales (vía AMPK/PKA) conectada a la proteína Sch9p⁹². Esta última proteína no solo responde a la presencia de glucosa, sino también a los niveles de nitrógeno y fósforo en el medio^{97,77,83}, por lo que estos factores también influirían en la expresión de *Atf1*.

Efecto de la fuente de nitrógeno

La fuente de nitrógeno es de gran importancia para el desarrollo de las levaduras, dado que cumple un papel crucial en la formación de proteínas. El malteado y macerado permite, a partir del material nitrogenado presente en la cebada, liberar al mosto entre 700 y 800 mg de nitrógeno por litro. Dependiendo de las condiciones de producción, la fracción soluble de nitrógeno en el mosto está formada por un 20% de proteínas, un 22% de polipéptidos y un 58% de péptidos y aminoácidos libres, aproximadamente⁶; estos últimos son la principal fuente asimilable de nitrógeno^{52,63}. Generalmente se recomiendan concentraciones de aminoácidos libres del orden de los 150-200 mg/l de mosto para lograr cervezas de buena calidad²⁸.

En el mosto, la concentración de compuestos nitrogenados afecta tanto al crecimiento de las levaduras como a la generación de compuestos volátiles responsables del aroma y sabor durante la fermentación^{10,59,86}. El aumento en las concentraciones de nitrógeno asimilable puede incrementar la expresión de genes *atf1*³⁶. La velocidad de formación y los niveles finales de ésteres de acetato también se ven incrementados al aumentar las cantidades de nitrógeno asimilable desde 115 mg/l hasta 433 mg/l, aunque solo cuando se utilizan mostos con densidades iniciales de 12 °P^{23,36}. En mostos más concentrados (> 16 °P), un aumento similar en la fuente de nitrógeno puede provocar una disminución en la concentración de compuestos del aroma y sabor, tales como etil acetato y feniletil acetato^{36,37}. En mostos de alta densidad, las levaduras necesitan asimilar una cantidad extra de nitrógeno para hacer frente a las condiciones de estrés⁹⁵. Asimismo, una relación alta de la fuente de carbono con respecto a la de nitrógeno (C:N) genera desbalances de nutrientes, que pueden impactar en la formación de compuestos aromáticos^{71,72}. En cuanto a los ésteres de etilo, el aumento en los niveles de nitrógeno no modifica sus concentraciones, independientemente de la densidad del mosto^{36,37,66}.

El perfil aromático de las cervezas no solo se ve influenciado por la cantidad de nitrógeno asimilable, sino también por el tipo de aminoácidos presentes en el mosto. La incorporación de aminoácidos como leucina, isoleucina o valina y su metabolismo a través de la vía de Ehrlich provocan, respectivamente, un aumento en la cantidad de isoamil

alcohol, 2-metil butanol, isobutanol y sus correspondientes ésteres de acetato^{24,59,61,73}. Específicamente, al utilizar la levadura Safale-S04, la adición de 0,750 g/l de L-leucina conduce a un incremento de un 41% en la concentración total de ésteres de acetato comparado con el control sin suplemento²⁶. En cambio, las concentraciones de ésteres de etilo pueden disminuir o no verse afectadas por el suplemento de aminoácidos, posiblemente por las modificaciones intracelulares en la concentración de acetyl-CoA^{26,61}.

La prolina y la histidina son otros aminoácidos de relevancia para el aroma y sabor de las cervezas^{34,59}. La adición de prolina en medio sintético permite la producción de mayores concentraciones de etil acetato en levaduras de tipo Ale y Lager. Este aminoácido no puede ser metabolizado por la vía de Ehrlich para dar lugar a un alcohol superior que sirva de precursor para la formación de ésteres, con lo cual su aporte a la formación de aromas en cervezas podría explicarse a través de la síntesis de glutamato, metabolito que sí interviene en dicha vía¹⁹. Por otra parte, Lei et al.³⁴ observaron que el suplemento de histidina en mostos de alta densidad activa genes codificantes de permeasas (*Bop2*, *Lyp1*, *Hip1* y *Agp1*) específicas del transporte de aminoácidos durante la fase exponencial de levaduras Lager. En ese mismo trabajo se observó un incremento significativo en la producción de isobutanol, isoamil alcohol, feniletanol y etil acetato.

La temperatura de fermentación

La razón por la cual la síntesis de ésteres de acetato y de etilo depende de la temperatura aún se desconoce con exactitud. En general, se ha observado que la concentración final de ésteres en cervezas se ve incrementada al utilizar mayores temperaturas de fermentación, aunque algunas cepas de levaduras pueden mostrar otros comportamientos en este sentido^{34,65,79}. Por ejemplo, en levaduras Lager, cuando se modifica la temperatura de fermentación de 12 a 15 °C, las concentraciones de ésteres como el isoamil acetato y el feniletil acetato pueden llegar hasta 1,73 mg/l (aumento aproximado del 40%) y 0,66 mg/l (aumento del 12%), respectivamente⁶⁵, mientras que el total de ésteres de etilo puede aumentar en un 15%. Sin embargo, en levaduras Ale se observó solo aumento en la concentración de feniletil acetato (17%) cuando se elevó la temperatura de 20 a 24 °C.

Si bien un aumento de temperatura genera una mayor concentración de alcoholes superiores —compuestos necesarios para la síntesis de ésteres^{26,33,66}—, varios estudios sugieren que la temperatura afecta principalmente la actividad de las enzimas que intervienen en su formación o la biosíntesis de aquellas. Saerens y colaboradores observaron que el aumento en la temperatura de fermentación incrementa los niveles de expresión de los genes *atf1* y *atf2*⁶⁵, lo que confirma resultados anteriores⁴². En cepas industriales de tipo Ale y Lager, la expresión del gen *eeb1* también se incrementa a temperaturas de fermentación mayores⁶⁵. No obstante, la falta de correlación entre la expresión de *eeb1* y la concentración de ésteres de etilo al realizar fermentaciones con cepas Ale sugiere que la temperatura y su efecto en la expresión de *eeb1* no son factores primarios en la producción de estos compuestos^{65,66}. Como se mencionó anteriormente, tanto las enzimas Eeb1p

como Eht1p poseen actividad esterasa, por lo que pueden evitar incrementos en las concentraciones de ésteres de etilo. Por otro lado, la adición de ácidos grasos de cadena larga, que son precursores para la formación de ésteres de etilo, permite incrementar tanto los niveles de expresión de *eeb1* como la producción de estos ésteres^{66,68}. Esta observación indica que la concentración de sustratos puede ser un factor limitante en la síntesis de estos compuestos.

Si bien la temperatura de fermentación no es determinante en la síntesis de ésteres de etilo, algunos autores sostienen que la liberación de estos compuestos se vería facilitada con los aumentos de temperatura, por favorecer la eficiencia de excreción o la autólisis de las levaduras^{64,75}.

Oxigenación y ácidos grasos insaturados

La presencia de oxígeno y de ácidos grasos insaturados en el mosto causa un efecto negativo en la producción de ésteres^{13,51,81}. Antes se sostenía que la reducción de ésteres de acetato en presencia de ácidos grasos insaturados se debía a la baja disponibilidad de acetyl-CoA, dado que, en presencia de oxígeno y junto con los ácidos grasos, el acetyl-CoA es requerido en la formación de fosfolípidos y triglicéridos, compuestos necesarios para el crecimiento de las levaduras⁷⁸. Varios autores luego observaron que la formación de ésteres en presencia de oxígeno y ácidos grasos insaturados depende esencialmente de la enzima AATasa^{16,92}. El gen codificante de esta enzima, al igual que un subgrupo de genes hipóxicos, posee una región promotora con un sitio de unión al complejo Rox1p-Tup1-5sn6. En condiciones aeróbicas, la transcripción del gen *Rox1* se activa y su producto es capaz de asociarse al complejo represor Tup1-5sn6, lo que permite su unión al promotor *atf1* y la inhibición de la transcripción de *atf1*⁴². Sin embargo, Vasconcelles et al.⁸⁰ revelaron posteriormente que dicho mecanismo juega un rol menor en la regulación de *atf1* y que la principal respuesta frente al oxígeno depende del elemento de respuesta bajo en oxígeno (conocido por la sigla LORE [*low oxygen response element*]), ubicado en la secuencia promotora de *atf1*. La inducción mediada por LORE no se encuentra completamente caracterizada, pero se ha demostrado que este mecanismo depende del procesamiento de dos proteínas de membrana del retículo endoplasmático, Spt23p y Mga2p³⁰. En la represión de *atf1* generada por los ácidos grasos insaturados también interviene el LORE⁸⁰, aunque aún se desconoce el mecanismo de represión.

Debido a que las evidencias reunidas hasta el momento indican que la formación de los ésteres de etilo no depende tanto de la actividad de las enzimas Eeb1p y Eht1p como de la disponibilidad de sustratos^{60,66}, la inhibición de este proceso en presencia de oxígeno y ácidos grasos insaturados puede explicarse mediante el modelo planteado por Dufour et al.¹³. De acuerdo con este modelo, la activación de la enzima acetyl-CoA carboxilasa, —clave en la regulación de la biosíntesis de ácidos grasos— es determinante para que el complejo proteico ácido graso sintasa libere ácidos grasos de cadena larga.

En condiciones limitadas de oxígeno se inhibe la acetyl-CoA carboxilasa y se acumulan compuestos acil-CoA de

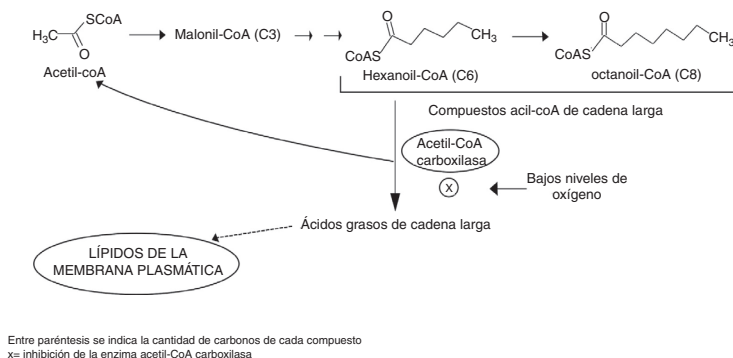


Figura 2 Biosíntesis de ácidos grasos y su relación con la formación de ésteres de etilo.

cadena larga, lo cual favorece la síntesis de ésteres de etilo (fig. 2). En presencia de oxígeno, se sintetizan ácidos grasos insaturados, se suprime la inhibición de esta enzima y la reacción de elongación procede para formar nuevamente ácidos grasos de cadena larga. Como resultado, el pool intracelular de acil-CoA de cadena larga se reduce y queda menos disponible para la formación de ésteres de etilo¹³. Esto sugiere que en diferentes condiciones de fermentación la actividad de las enzimas que intervienen en la síntesis de ácidos grasos podría ser un blanco para la modificación de los niveles de ésteres de etilo en cerveza⁶⁶.

La adición de lípidos al mosto, especialmente de ácidos grasos insaturados, puede eliminar los requerimientos de aireación al inicio de las fermentaciones⁷⁶. No obstante, los ácidos grasos insaturados aún pueden inhibir la producción de ésteres. Moonjai et al.⁵⁰ investigaron el efecto de la adición de estos lípidos en levaduras antes de ser agregadas al mosto. Los resultados mostraron que cuando las levaduras tratadas previamente con ácidos grasos insaturados son agregadas en mostos poco oxigenados, no hay reducción en los niveles de ésteres de acetato. Además, tanto el crecimiento de estas levaduras como su perfil de atenuación son similares a los obtenidos con levaduras no tratadas cuando se inoculan en mostos preaireados. Estas observaciones fueron aplicadas con éxito a escala industrial utilizando aceite de oliva para el tratamiento previo de las levaduras, dado que contiene ácidos grasos insaturados y es de bajo costo²⁹. Las cervezas producidas en este caso presentaron mayores concentraciones de ésteres respecto de los controles y una mejoría significativa en su aroma y sabor. Sin embargo, cabe considerar que el aceite de oliva no es fuente de esteroles, componentes esenciales de las membranas plasmáticas requeridos para la generación de nuevas levaduras. Una cantidad reducida de oxígeno en el mosto, además de evitar la inhibición de la formación de ésteres, evita la oxidación de compuestos como polifenoles, iso- α -ácidos y alcoholes superiores y, por lo tanto, el deterioro organoléptico de las cervezas producidas¹².

Presión y dióxido de carbono disuelto

Un exceso en la cantidad de dióxido de carbono disuelto generalmente inhibe el crecimiento de las levaduras y su metabolismo, posiblemente por la inhibición de las reacciones de descarboxilación, vitales para la célula^{33,44}. Como consecuencia, también se reduce de manera significativa la producción de ésteres y alcoholes superiores, aunque en estos últimos el efecto es menor^{21,79}. Dado que las reacciones de descarboxilación son necesarias para la producción de acetil-CoA, se cree que la influencia del dióxido de carbono en la concentración final de ésteres se debe a la inhibición de la síntesis de sustratos necesarios para la generación de estos compuestos. Al realizar fermentaciones a gran escala, el dióxido disuelto puede llegar a grandes concentraciones. Por su mayor altura, los fermentadores utilizados en este tipo de fermentaciones generan una mayor presión hidrostática, lo cual favorece la disolución del dióxido de carbono.

A pesar de que una disminución en la concentración de ésteres usualmente es indeseable, cuando se utilizan temperaturas de fermentación elevadas y mostos con alta densidad inicial se puede aplicar dióxido de carbono para controlar la formación de compuestos responsables del aroma y sabor en cervezas². Cuando se eleva la temperatura de fermentación a presión atmosférica se produce un rápido y mayor crecimiento de las levaduras, lo que hace que la fase de adaptación de las levaduras al medio (fase lag) se reduzca o prácticamente desaparezca³³. En esas condiciones, la velocidad de producción de ésteres de acetato también aumenta y puede alcanzar su pico máximo alrededor de los 50 min de iniciada la fermentación. Para evitar concentraciones muy elevadas de ésteres a altas temperaturas de fermentación es posible incrementar la presión de dióxido luego de 25-30 h. Esto permite que luego de la fase inicial, al aplicar presión, el crecimiento de las levaduras se enlentezca y la producción de ésteres disminuya^{33,44}. Una fórmula empírica útil para estimar la presión apropiada está dada por esta ecuación: $P \text{ (bar)} = ^\circ\text{C}/10$, donde P es la presión en bares y $^\circ\text{C}$ es la temperatura de fermentación⁴⁴. Por ejemplo, si una levadura Lager

Síntesis y regulación de ésteres en cerveza

443

es utilizada en fermentaciones a 20 °C aproximadamente, la presión puede elevarse hasta alrededor de 2 bar. El dióxido de carbono disuelto a una presión de 2 bar se duplica y las concentraciones de etil acetato, isoamil acetato, isobutil acetato, etil hexanoato y etil octanoato disminuyen cerca de un 50% respecto de fermentaciones sin presurizar^{33,62}.

La levadura: factor determinante en el perfil aromático de las cervezas

Uno de los factores más importantes que afecta a la producción de ésteres durante la producción de cerveza es, sin duda, la cepa de levadura utilizada. El diferente aroma y sabor generado por un tipo de levadura respecto de otro —en vinculación directa con los ésteres producidos— puede deberse a diferencias interespecíficas en términos genómicos, en los mecanismos de regulación de la expresión de los genes responsables de la síntesis de dichos ésteres y en la actividad de las enzimas participantes^{25,27,32,74}. Tanto mutaciones puntuales en zonas regulatorias o en genes estructurales⁸⁵ como mutaciones de mayor envergadura (deleciones, duplicaciones, aneuploidias, poliploidias) son responsables de la diversidad fenotípica de las cepas de levaduras cervecera^{8,32,46,89}. En particular en las levaduras Lager (que son producto de la hibridación de dos especies de levadura sacaromycéticas³⁸), la situación es aún más compleja como resultado de la interacción molecular entre los dos subgenomas.

Por ejemplo, He et al.²⁵ demostraron que en el transcurso de fermentaciones realizadas a 9,5 °C utilizando un mosto inicial de 13°P y una levadura Lager industrial, la transcripción de los genes *atf1*, *atf2*, *eht1* y *iah1* es dominada por la parte no *S. cerevisiae*. Por otro lado, la sobreexpresión de genes *atf1* y *atf2* derivados de levaduras de tipo Ale y Lager puede generar distintas concentraciones de cada éster, aun utilizando las mismas condiciones de fermentación. Esto sugiere que las variaciones en el perfil aromático producido por las levaduras podrían obedecer a mutaciones específicas en sus genes *atf*⁸⁵.

La formación de ésteres también podría verse influenciada por el nivel de ploidía (cantidad de juegos de cromosomas) en las levaduras, ya que un incremento en el número de copias de un gen generalmente origina un aumento de su expresión y fenotipos diferentes^{8,32,46,89}. Cepas de levaduras Lager pertenecientes al grupo I (Saaz), que tienen aproximadamente tres juegos de cromosomas (alotriploide), generan menores cantidades de ésteres (como isoamil acetato, etil acetato e isobutil acetato) respecto de cepas del grupo II (o Frohberg), que poseen cuatro juegos de cromosomas (alotetraploide)^{20,49,87,88}. No se sabe con certeza si estas diferencias en la producción de ésteres por parte de híbridos naturales se deben a variaciones en el número de copias de los genes responsables de su síntesis. Pese a esto, en un estudio reciente donde se analizaron híbridos artificiales con diferente ploidía (derivados de *S. cerevisiae* y *S. eubayanus*) se observó una correlación positiva entre los niveles de transcripción de los genes que contribuyen a la formación de ésteres y su número de copias en los genomas, así como también en los niveles máximos de transcripción de *atf1*, *atf2*, *eht1* y *eeb1* y en la concentración final de ésteres de acetato y etil hexanoato³².

Con el aumento en la demanda de productos que satisfagan los deseos de los consumidores en cuanto a mayor diversidad de aromas y sabores, los productores de bebidas fermentadas han incrementado su interés en el uso de levaduras no convencionales o salvajes¹. Entre ellas pueden distinguirse dos tipos: las levaduras sacaromycéticas y las no sacaromycéticas (p.ej., *Candida*, *Hanseniaspora*, *Kluyveromyces*, *Pichia*, *Torulaspora*, *Saccharomyces* y *Zygosaccharomyces*)^{47,48,69}. Estas levaduras son de particular interés porque pueden producir una amplia variedad de compuestos aromáticos que contribuyen positivamente en el perfil aromático general, entre ellos, los ésteres. Por tal motivo existe una renovada tendencia hacia la búsqueda de nuevas levaduras que puedan aportar complejidad de sabores y aromas a las cervezas, ya que se las considera promisorias herramientas para uso en «*bioflavoring*» o como biosaborizantes³.

Consideraciones finales

La formación de ésteres durante la producción de cerveza es un proceso complejo. Esto no solo se debe a que en la síntesis de ésteres de acetato y de etilo intervienen distintas enzimas y sustratos, sino también a que estos procesos se encuentran regulados por diversos parámetros operacionales. En el caso de los ésteres de acetato, su producción depende principalmente de los niveles de expresión de los genes *atf*, con lo cual cualquier factor que influya en la expresión de estos genes afectará también la concentración de dichos ésteres (Tabla 2). En la síntesis de ésteres de etilo, en cambio, el factor limitante es la concentración de los precursores necesarios para su formación. Parámetros como la oxigenación y los niveles de ácidos grasos insaturados, además de afectar la formación de ésteres de acetato, modifican las concentraciones de los precursores de ésteres de etilo ejerciendo un efecto mayor en las concentraciones de estos compuestos respecto de la temperatura de fermentación y la concentración de aminoácidos y de glucosa en el mosto. Estos últimos factores permiten un control más selectivo de los niveles de ésteres de acetato.

Con la modificación de los distintos parámetros tecnológicos asociados a la composición del mosto y a las condiciones

Tabla 2 Regulación de las enzimas alcohol acetil transferasas (ATF) y producción de ésteres de acetato frente al incremento de diferentes variables de fermentación

Variable	Enzimas ATF	Efecto en la concentración de ésteres de acetato
Densidad inicial	●	↑
Nitrógeno	●	↑
Temperatura	●	↑
Oxígeno	○	↓
Ácidos grasos	○	↓

Círculos negros o blancos: regulación positiva o negativa de la expresión de enzimas ATF con el incremento de la variable correspondiente. Las flechas indican aumento o disminución de los niveles de ésteres de acetato al aumentar la variable correspondiente.

de fermentación es posible contrarrestar efectos negativos en la cerveza generados por la producción de ésteres. Por ejemplo, cuando los ésteres de acetato se encuentran en concentraciones muy elevadas, probablemente sea conveniente disminuir la temperatura de fermentación y las concentraciones de aminoácidos y de glucosa del mosto, de manera de evitar un estrés excesivo para las levaduras. No obstante, la levadura es una de las herramientas más importantes a la hora de controlar la producción de ésteres, por lo que la selección de una levadura adecuada para el tipo de cerveza que se quiere elaborar debe ser parte integral del proceso de desarrollo del producto final. Dependiendo de su carga genética, las levaduras pueden diferir tanto en la producción total de ésteres como en la proporción relativa de cada éster, de modo que brindan productos con perfiles de aroma y sabores específicos.

Estas características de las levaduras han incentivado el aislamiento, la caracterización y el desarrollo de nuevas variantes de levaduras, con una importante demanda por parte del mercado cervecero mundial para generar productos con propiedades distintivas. Hasta el momento hay pocos trabajos en los que se investiguen los parámetros fermentativos de las levaduras «salvajes», así como su metabolismo y su capacidad de producir compuestos del aroma y sabor, aunque varias de ellas presentan características prometedoras respecto de su aplicación en cerveza. Se espera que en el futuro, a partir del estudio de las propiedades de levaduras salvajes y sus híbridos, se incremente la diversidad fenotípica de las cepas disponibles para la elaboración de cerveza.

Las investigaciones de los últimos 60 años han permitido entender los mecanismos por los cuales las levaduras metabolizan los precursores para la síntesis de ésteres en cerveza, los genes que intervienen y la regulación de estos procesos. Sin embargo, aún quedan interrogantes acerca del control de ésteres y el uso de nuevas levaduras a escala semipiloto o industrial.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Agradecimientos

Los autores son miembros del CONICET y este trabajo fue financiado por el proyecto PICT 3677 del FONCYT, el proyecto PIP424 del CONICET y la Universidad Nacional del Comahue. Se agradece a los apasionados productores de cerveza artesanal de la Argentina y en particular de la Patagonia, quienes inspiraron esta serie de artículos de revisión.

Bibliografía

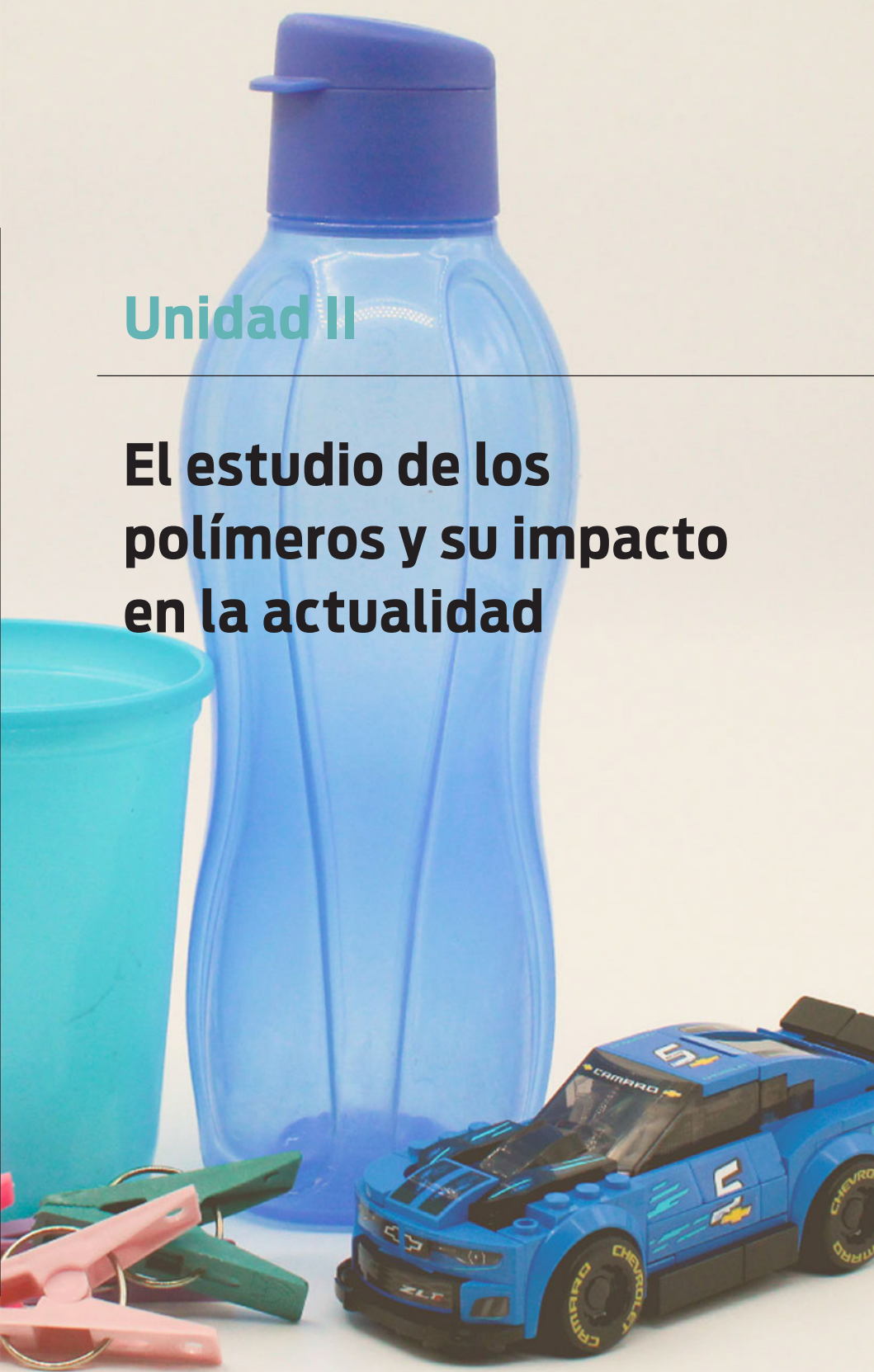
- Aquilani B, Laureti T, Poponi S, Secondi L. Beer choice and consumption determinants when craft beers are tasted: An exploratory study of consumer preferences. *Food Qual Prefer.* 2015;41:214–24.
- Arcay-Ledezma GJ, Slaughter JC. The response of *Saccharomyces cerevisiae* to fermentation under carbon dioxide pressure. *J Inst Brew.* 1984;90:81–4.
- Basso RF, Alcarde AR. Could non-*Saccharomyces* yeasts contribute on innovative brewing fermentations? *Food Res Int.* 2016;86:112–20.
- Bing J, Han P, Liu W, Wang Q, Bai F. Evidence for a Far East Asian origin of lager beer yeast. *Curr Biol.* 2013;24:380–1.
- Blicek L, Toye G, Dumortier F, Vertepren KJ, Delvaux FD, Thevelein JMW. Isolation and characterization of brewer's yeast variants with improved fermentation performance under high-gravity conditions. *Appl Environ Microbiol.* 2007;73:815–24.
- Boulton C, Quain D. *Brewing Yeast and Fermentation*. Oxford: Blackwell Science; 2008. p. 51–4.
- Briggs DE, Boulton CA, Brookes PA, Stevens R. *Brewing: Science and Practice*. Florida: Cambridge UK/CRC Press; 2004.
- van den Broek M, Bolat I, Nijkamp JF, Ramos E, Luttikhuis MAH, Koopman F, Geertman JM, de Ridder D, Pronk JT, Daran JM. Chromosomal copy number variation in *Saccharomyces pastorianus* is evidence for extensive genome dynamics in industrial lager brewing strains. *Appl Environ Microbiol.* 2015;81:6253–67.
- Calderbank J, Hammond JRM. Influence of higher alcohol availability on ester formation by yeast. *J Am Soc Brew Chem.* 1994;52:84–90.
- da Cruz SH, Maffud CE, Ernandes JR. Structural complexity of the nitrogen source and influence on yeast growth and fermentation. *J Inst Brew.* 2002;108:54–61.
- Dekoninck TM, Verbelten PJ, Delvaux F, van Mulders SE, Delvaux FR. The importance of wort composition for yeast metabolism during accelerated brewery fermentations. *J Am Soc Brew Chem.* 2012;7:195–204.
- Depraetere SA, Delvaux F, De Schutter D, Williams IS, Winderickx J, Delvaux FR. The influence of wort aeration and yeast preoxygenation on beer staling processes. *Food Chem.* 2008;107:242–9.
- Dufour J, Malcorps P, Silcock P. 21 Control of ester synthesis during brewery fermentation. En: Smart K, editor. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK: Blackwell Publishing; 2003. p. 213–33.
- Engan S. Beer composition: Volatile substances. En: Pollock JR, editor. *Brewing Science*. Academic Press; 1981. p. 98–105.
- Fujii T, Yoshimoto H, Nagasawai N, Bogaki T, Tamai Y, Hamachit M. Nucleotide sequences of alcohol acetyltransferase genes from lager brewing yeast, *Saccharomyces carlsbergensis*. *Yeast.* 1996;12:593–8.
- Fujiwara D, Kobayashi O, Yoshimoto H, Harashima S, Tamai Y. Molecular mechanism of the multiple regulation of the *Saccharomyces cerevisiae* *atf1* gene encoding alcohol acetyltransferase. *Yeast.* 1999;15:1183–97.
- Fukuda K, Wakai Y. Brewing properties of sake yeast whose *est2* gene encoding isoamyl acetate-hydrolyzing esterase was disrupted. *J Ferment Bioeng.* 1998;85:101–6.
- Gamero A, Ferreira V, Pretorius IS, Querol A. Wine, beer and cider: Unravelling the aroma profile. En: Piskur J, Compagno C, editors. *Molecular Mechanisms in Yeast Carbon Metabolism*. Springer Heidelberg; 2014. p. 261–97.
- Gibson BR, Boulton CA, Box WG, Graham NS, Lawrence SJ, Linforth RS, Smart KA. Amino acid uptake and yeast gene transcription during industrial brewery fermentation. *J Am Soc Brew Chem.* 2009;67:157–65.
- Gibson BR, Storgårds E, Krogæus K, Vidgren V. Comparative physiology and fermentation performance of Saaz and Froberg lager yeast strains and the parental species *Saccharomyces eubayanus*. *Yeast.* 2013;30:255–66.
- Gibson BR, Lawrence SJ, Leclaire JPR, Powell CD, Smart KA. Yeast responses to stresses associated with industrial brewery handling. *FEMS Microbiol Rev.* 2007;31:535–69.
- Guido LF, Rodrigues PG, Rodrigues JA, Gonçalves CR, Barros AA. The impact of the physiological condition of the pitching yeast on beer flavour stability: An industrial approach. *Food Chem.* 2004;87:187–93.

23. Hashimoto T, Maruhashi T, Yamaguchi Y, Hida Y, Oka K. The effect on fermentation by-products of the amino acids in wort. En: Proceedings of the World Brewing Congress. Portland, OR; 2012.
24. Hazelwood LA, Daran J, Pronk JT, Dickinson JR. The Ehrlich pathway for fusel alcohol production: A century of research on *Saccharomyces cerevisiae* metabolism. *Appl Environ Microbiol*. 2008;74:2259–66.
25. He Y, Dong J, Yin H, Chen P, Lin H, Chen L. Monitoring of the production of flavour compounds by analysis of the gene transcription involved in higher alcohol and ester formation by the brewer's yeast *Saccharomyces pastorianus* using a multiplex RT-qPCR assay. *Inst Brew Distill*. 2014;120:119–26.
26. Hiralal L, Olaniran AO, Pillay B. Aroma-active ester profile of ale beer produced under different fermentation and nutritional conditions. *J Biosci Bioeng*. 2014;117:57–64.
27. Horinouchi T, Yoshikawa K, Kawaide R, Furusawa C, Nakao Y, Hirasawa T, Shimizu H. Genome-wide expression analysis of *Saccharomyces pastorianus* orthologous genes using oligonucleotide microarrays. *J Biosci Bioeng*. 2010;110:602–7.
28. Hornsey IS. Elaboración de cerveza: microbiología, bioquímica y tecnología. Acribia. 2003.
29. Hull G. Olive oil addition to yeast as an alternative to wort aeration. USA: Postgraduate Diploma/MSc in Brewing and Distilling; 2008.
30. Jiang Y, Vasconcelles MJ, Wretzel S, Light A, Martin CE, Goldberg MA. MGA2 is involved in the low-oxygen response element-dependent hypoxic induction of genes in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Cell Biol*. 2001;21:6161–9.
31. Knight MJ, Bull ID, Curnow P. The yeast enzyme Eht1 is an octanoyl-CoA:ethanol acyltransferase that also functions as a thioesterase. *Yeast*. 2014;31:463–74.
32. Krogerus K, Magalhães F, Vidgren V, Gibson B. Novel brewing yeast hybrids: Creation and application. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2016;101:65–78.
33. Laundaud S, Latrille E, Corrieu G. Top pressure and temperature control the fusel alcohol/ester ratio through yeast growth in beer. *J Inst Brew*. 2001;107:107–17.
34. Lei H, Li H, Mo F, Llye Z. Effects of Lys and His supplementations on the regulation of nitrogen metabolism in lager yeast. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2013;97:8913–21.
35. Lei H, Xu H, Feng L, Yu Z, Zhao H, Zhao M. Fermentation performance of lager yeast in high gravity beer fermentations with different sugar supplementations. *J Biosci Bioeng*. 2016;122:583–8.
36. Lei H, Zhao H, Yu Z, Zhao M. Effects of wort gravity and nitrogen level on fermentation performance of brewer's yeast and the formation of flavor volatiles. *Appl Biochem Biotechnol*. 2012;166:1562–74.
37. Lei H, Zheng L, Wang C, Zhao H, Zhao M. Effects of worts treated with proteases on the assimilation of free amino acids and fermentation performance of lager yeast. *Int J Food Microbiol*. 2013;161:76–83.
38. Libkind D, Hittinger CT, Dover J, Johnston M. Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Proc Natl Acad Sci*. 2011;108:14539–44.
39. Malcorps P, Dufour JP. Short-chain and mediumchain aliphatic-ester synthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *Eur J Biochem*. 1992;210:1015–22.
40. Malcorps P, Cheval JM, Jamil S, Dufour JP. A new model for the regulation of ester synthesis by alcohol acetyltransferase in *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation. *Am Soc Brew Chem*. 1991;49:47–53.
41. Mariska L, Bauer F, Lambrechts MG, Swiegers JH, Pretorius IS. The effect of increased yeast alcohol acetyltransferase and esterase activity on the flavour profiles of wine and distillates. *Yeast*. 2006;23:641–59.
42. Mason AB, Dufour JP. Alcohol acetyltransferases and the significance of ester synthesis in yeast. *Yeast*. 2000;16:1287–98.
43. McCaig R, McKee J, Pfisterer EA, Hysert DW, Drive D, Munoz E, Ingledew WM. Very high gravity brewing—Laboratory and pilot plant trials. *Am Soc Brew Chem*. 1992;50:18–26.
44. Meilgaard M. Effects on flavour of innovations in brewery equipment and processing: A review. *J Inst Brew*. 2001;107:271–86.
45. Meilgaard MC. Flavor chemistry of beer. I. Flavor interaction between principal volatiles. *Tech Q Mast Brew Assoc Am*. 1975;12:107–17.
46. Mertens S, Steensels J, Saelens V, de Rouck G, Aerts G, Verstrepen KJ. A large set of newly created interspecific *Saccharomyces* hybrids increases aromatic diversity in lager beers. *Appl Environ Microbiol*. 2015;81:8202–14.
47. Michel M, Kopecká J, Meier-Dörnberg T, Zarnkow M, Jacob F, Hutzler M. Screening for new brewing yeasts in the non-*Saccharomyces* sector with *Torulaspora delbrueckii* as model. *Yeast*. 2016;33:129–44.
48. Michel M, Meier-Dörnberg T, Jacob F, Methner FJ, Wagner RS, Hutzler M. Unconventional yeasts for beer: The contribution of pure non-*Saccharomyces* starter cultures for fermentation with a focus on secondary metabolites and practical application. *J Inst Brew*. 2016;112:569–87.
49. Monerawala C, James TC, Wolfe KH, Bond U. Loss of lager specific genes and subtelomeric regions define two different *Saccharomyces cerevisiae* lineages for *Saccharomyces pastorianus* Group I and II strains. *FEMS Yeast Res*. 2015;15:1–11.
50. Moonjai N, Verstrepen KJ, Delvaux FR, Derdelinckx G, Verachtert H. The effects of linoleic acid supplementation of cropped yeast on its subsequent fermentation performance and acetate ester synthesis. *J Inst Brew*. 2002;108:227–35.
51. Moonjai N, Verstrepen KJ, Derdelinckx G, Verachtert H, Delvaux FR. Linoleic acid supplementation of a cropped brewing lager strain: effects on subsequent fermentation performance with serial repitching. *J Inst Brew*. 2003;109:262–72.
52. O'Connor-Cox ES, Ingledew WM. Wort nitrogenous sources—Their use by brewing yeasts: A review. *J Am Soc Brew Chem*. 1989;47:102–8.
53. Olaniran AO, Hiralal L, Mokoena MP, Pillay B. Flavour-active volatile compounds in beer: Production, regulation and control. *Inst Brew Distill*. 2017;123:13–23.
54. Peddie HA. Ester formation in brewery fermentations. *J Inst Brew*. 1990;96:327–31.
55. Piddocke MP, Fazio A, Vongsangnak W, Wong ML, Heldt-Hansen HP, Workman C, Nielsen J, Olsson L. Revealing the beneficial effect of protease supplementation to high gravity beer fermentations using “-omics” techniques. *Microb Cell Fact*. 2011;10:1–14.
56. Piddocke MP, Kreis S, Heldt-Hansen HP, Nielsen FK, Olsson L. Physiological characterization of brewer's yeast in high-gravity beer fermentations with glucose or maltose syrups as adjuncts. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2009;84:453–64.
57. Pires EJ, Teixeira JA, Brányik T, Vicente AA. Yeast: The soul of beer's aroma — A review of flavour-active esters and higher alcohols produced by the brewing yeast. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2014;98:1937–49.
58. Pradeep P, Smogrovicova D, Obulam VS, Sanghoo K. Very high gravity (VHG) ethanolic brewing and fermentation: A research update. *J Ind Microbiol Biotechnol*. 2011;38:1133–44.
59. Procopio S, Krause D, Hofmann T, Becker T. Significant amino acids in aroma compound profiling during yeast fermentation analyzed by PLS regression. *LWT - Food Sci Technol*. 2013;51:423–32.
60. Procopio S, Qian F, Becker T. Function and regulation of yeast genes involved in higher alcohol and ester metabolism during beverage fermentation. *Eur Food Res Technol*. 2011;233:721–9.
61. Procopio S, Sprung P, Becker T. Effect of amino acid supply on the transcription of flavour-related genes and aroma compound

- production during lager yeast fermentation. *LWT - Food Sci Technol.* 2015;63:289–97.
62. Renger BRS, Hateren SH, van Luyben KCAM. The formation of esters and higher alcohols during brewery fermentation; the effect of carbon dioxide pressure. *J Inst Brew.* 1992;98:509–13.
 63. Rose AH, Harrison JS. *The Yeasts*. 5th ed. Elsevier; 2012.
 64. Saerens S, Verstrepen K, Thevelein J, Delvaux F. Ethyl ester production during brewery fermentation: A review. *Cerevisia Belgian J Brew Biotechnol.* 2008;33:83–90.
 65. Saerens S, Verbelen PJ, Vanbeneden N, Thevelein JM, Delvaux FR. Monitoring the influence of high-gravity brewing and fermentation temperature on flavour formation by analysis of gene expression levels in brewing yeast. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2008;80:1039–51.
 66. Saerens SMG, Delvaux F, Verstrepen KJ, van Dijk P, Thevelein JM, Delvaux FR. Parameters affecting ethyl ester production by *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation. *Appl Environ Microbiol.* 2008;74:454–61.
 67. Saerens SMG, Delvaux FR, Verstrepen KJ, Thevelein JM. Production and biological function of volatile esters in *Saccharomyces cerevisiae*. *Microb Biotechnol.* 2010;3:165–77.
 68. Saerens SMG, Verstrepen KJ, Laere SDM, Voet ARD, Dijk P, Delvaux FR, Thevelein JM. *Saccharomyces cerevisiae eht1* and *eeb1* genes encode novel enzymes with medium-chain fatty acid ethyl ester synthesis and hydrolysis capacity. *J Biol Chem.* 2006;281:4446–56.
 69. Schifferdecker AJ, Dashko S, Ishchuk OP, Piškur J. The wine and beer yeast *Dekkera bruxellensis*. *Yeast.* 2014;31:323–32.
 70. Schneiderbanger H, Koob J, Poltinger S, Jacob F, Hutzler M. Gene expression in wheat beer yeast strains and the synthesis of acetate esters. *J Inst Brew.* 2016;122:403–11.
 71. Sendra JM, Todo V, Pinaga F, Izquierdo L, Carbonell JV. Evaluation of the effects of yeast strain and fermentation conditions on the volatile concentration profiles of pilot plant lager beers. *Monatsschr. Brauwiss.* 1994;10:115.
 72. Stewart G. The influence of high gravity wort on the stress characteristics of brewer's yeast and related strains. *Cerevisia.* 2007;32:37.
 73. Stribny J, Gamero A, Pérez-Torrado R, Querol A. *Saccharomyces kudriavzevii* and *Saccharomyces uvarum* differ from *Saccharomyces cerevisiae* during the production of aroma-active higher alcohols and acetate esters using their amino acid precursors. *Int J Food Microbiol.* 2015;205:41–6.
 74. Stribny J, Querol A, Pérez-Torrado R. Differences in enzymatic properties of the *Saccharomyces kudriavzevii* and *Saccharomyces uvarum* alcohol acetyltransferases and their impact on aroma-active compounds production. *Front Microbiol.* 2016;7:1–13.
 75. Suomalainen H. Yeast esterases and aroma esters in alcoholic beverages. *J Inst Brew.* 1981;87:296–300.
 76. Taylor GT, Thurston PA, Kirsop BH. The influence of lipids derived from malt spent grains on yeast metabolism and fermentation. *J Inst Brew.* 1979;85:219–27.
 77. Thevelein JM, Cauwenberg L, Colombo S, de Winde JH, Donatien M, Dumortier F, Rolland F. Nutrient-induced signal transduction through the protein kinase A pathway and its role in the control of metabolism, stress resistance, and growth in yeast. *Enzyme Microb Technol.* 2000;26:819–25.
 78. Thurston PA, Quain DE, Tubb R. Lipid metabolism and the regulation of volatile synthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Inst Brew.* 1982;88:90–4.
 79. Titica M, Landaud S, Trelea IC, Latrille E, Corrieu G, Cheruy A, Universitaire D. Modeling of the kinetics of higher alcohol and ester production based on CO₂ emission with a view to control of beer flavor by temperature and top pressure. *J Am Soc Brew Chem.* 2000;58:167–74.
 80. Vasconcelles MJ, Jiang Y, McDavid K, Giloely L, Wretzel S, Porter DL, Martin CE, Goldberg MA. Identification and characterization of a low oxygen response element involved in the hypoxic induction of a family of *Saccharomyces cerevisiae* genes. *J Biol Chem.* 2001;276:14374–84.
 81. Verbelen PJ, Saerens SM, van Mulders SE, Delvaux F. The role of oxygen in yeast metabolism during high cell density brewery fermentations. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2009;82:1143–56.
 82. Smart K. Genetic regulation of ester synthesis in yeast: New facts, insights and implications for the brewer. En: Verstrepen KJ, Moonjai N, Bauer F, Derdelinckx G, Dufour JP, Winderickx J, Delvaux FR, editors. *Brew Yeast Ferment Perform.* 2003. p. 234–48.
 83. Verstrepen KJ, Derdelinckx G, Dufour J, Winderickx J, Pretorius IS, Thevelein JM, Delvaux FR. The *Saccharomyces cerevisiae* alcohol acetyl transferase gene *ATF1* is a target of the cAMP/PKA and FGM nutrient-signalling pathways. *FEMS.* 2003;4:285–96.
 84. Verstrepen KJ, Derdelinckx G, Dufour J, Winderickx J, Thevelein JM, Pretorius IS, Delvaux FR, Box PO, Osmond G, Sa A. Flavor-active esters: Adding fruitiness to beer. *J Biosci Bioeng.* 2003;96:110–8.
 85. Verstrepen KJ, Laere SD, Vanderhaegen BM, Derdelinckx G, Dufour J, Pretorius IS, Winderickx J, Thevelein JM, Delvaux FR. Expression levels of the yeast alcohol acetyltransferase genes. *Appl Environ Microbiol.* 2003;69:5228–37.
 86. Vidal EE, Billerbeck GM, Simões DA, Schuler A, François JM, Antonio M. Influence of nitrogen supply on the production of higher alcohols/esters and expression of flavour-related genes in cachaca fermentation. *Food Chem.* 2013;138:701–8.
 87. Walther A, Hesselbart A, Wendland J. Genome sequence of *Saccharomyces carlsbergensis*, the world's first pure culture lager yeast. *G3 Genes/Genomes/Genetics.* 2014;4:783–93.
 88. Wendland J. Lager yeast comes of age. *Eukaryot Cell.* 2014;13:1256–65.
 89. Yamada R, Tanaka T, Ogino C, Kondo A. Gene copy number and ploidy on products formation in yeast. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2010;88:849–57.
 90. Yoshimoto H, Fujiwara D, Momma T, Tanaka K, Sone H, Nagasawa N, Tamai Y. Isolation and characterization of the *atf2* gene encoding alcohol acetyltransferase II in the bottom fermenting yeast *Saccharomyces pastorianus*. *Yeast.* 1999;417:409–17.
 91. Yoshimoto H, Fukushige T, Yonezawa T, Sone H. Genetic and physiological analysis of branched-chain alcohols and isoamyl acetate production in *Saccharomyces cerevisiae*. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2002;59:501–8.
 92. Yoshioka K, Hashimoto N. Cellular fatty acid and ester formation by brewers' yeast. *Agric Biol Chem.* 1983;47:2287–94.
 93. Younis OS, Stewart GG. Effect of malt wort, very-high-gravity malt wort, and very-high-gravity adjunct wort on volatile production in *Saccharomyces cerevisiae*. *J Am Soc Brew Chem.* 1999;57:39–45.
 94. Younis BOS, Stewart GG. Sugar uptake and subsequent ester and higher alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *J Inst Brew.* 1998;104:255–64.
 95. Yu Z, Zhao H, Li H, Zhang Q, Lei H, Zhao M. Selection of *Saccharomyces pastorianus* variants with improved fermentation performance under very high gravity wort conditions. *Biotechnol Lett.* 2012;34:365–70.
 96. Zhang C, Liu Y, Qi Y, Zhang J, Dai L, Lin X, Xiao D. Increased esters and decreased higher alcohols production by engineered brewer's yeast strains. *Eur Food Res Technol.* 2013;236:1009–14.
 97. Zhang J, Zhang C, Dai L, Liu JDY, Guo X, Xiao D. Effects of overexpression of the alcohol acetyltransferase-encoding gene *atf1* and disruption of the esterase-encoding gene *IAH1* on the flavour profiles of Chinese yellow rice wine. *Int J Food Sci Technol.* 2012;47:1–7.

Unidad II

El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad



Lectura 9: Polímeros.

Guía didáctica

Ficha de referencia

Hermida, E. (2011). *Polímeros, Guía Didáctica*. Capítulo 9. Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica. Buenos Aires, Argentina, p. 14, 16-18, 21-22.

Disponible en

http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Poli-meros.pdf

Sinopsis

El texto presenta información general de las macromoléculas como los polímeros desde su definición, características, distintas clasificaciones y la estructura que pueden tener y como resultado de ella, sus propiedades.

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizajes: A1. (H, V) Reconoce la importancia de los polímeros en la vida cotidiana, al reflexionar sobre el origen natural y sintético de estos materiales y sobre sus aplicaciones. N1

A2. (C, H, V) Reconoce la versatilidad de los polímeros al observar la resistencia mecánica y flexibilidad de diferentes muestras.

A3. (C, H) Comprende que los polímeros son compuestos de gran tamaño, formados por la unión química de sustancias simples, al manipular modelos que representan cadenas lineales, al manipular modelos que representan cadenas lineales, ramificada y reticulares, para explicar en un primer acercamiento, las propiedades de las sustancias poliméricas. N2

Justificación. El contenido del texto atiende parcialmente el propósito de la unidad el cual señala que el alumno va a comprender que las propiedades de los polímeros dependen de su estructura molecular y que ésta determina sus múltiples aplicaciones. También considera la temática asociada a los aprendizajes: clasificar por su origen a los polímeros y propiedades como resistencia y flexibilidad. El documento considera la distinción de homopolímero y copolímero que será útil para el aprendizaje 5.

Descripción de la actividad

1. Con base en la información del texto los alumnos (individualmente) deben identificar si los siguientes enunciados son falsos (F) o verdaderos (V), para el caso de que sea falso, el alumno deberá de justificar su elección.

- | | |
|---|----------|
| a) El polietileno es un polímero que tiene una masa molar de 28 g/mol. | () |
| b) Los polímeros son materiales formados por macromoléculas que se forman por cientos de miles de monómeros. | () |
| c) Un polímero natural es la albúmina del huevo. | () |
| d) Según su origen, una clasificación de los polímeros es en sintéticos y ramificados. | () |
| e) El siguiente modelo representa una fracción de un polímero que se clasifica en ramificado y en copolímero. | () |

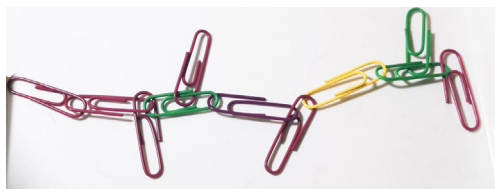


- | | |
|--|----------|
| f) El siguiente modelo representa una fracción de un copolímero que tendrá la propiedad de ser termoestable. | () |
|--|----------|



g) El polietileno de alta densidad tiene pocas ramificaciones, esta estructura le permite ser más resistente que el que tiene muchas ramificaciones.	()
--	----------

h) El siguiente modelo representa una fracción de un homopolímero que será menos resistente, tenaz y no cristalino.	()
---	----------



i) Para lograr el entrecruzamiento en el caucho se añade azufre.	()
--	----------

j) Las llantas de los autos son elastómeros modificados mediante un proceso que se conoce como vulcanización.	()
---	----------

- Los alumnos en parejas deben revisar sus respuestas para que posteriormente el profesor promueva la participación en plenaria y compartir las mismas.
- Reunidos en parejas, pedir a los alumnos que propongan un modelo (en papel o con materiales como esferas de unicel y palillos) de polímeros que cumplan con las siguientes características: que sea un homopolímero, termoplástico y resistente.

4. Se les puede pedir a los alumnos que, en equipo de tres, elijan algún objeto polimérico y elaboren un video (de 2 minutos) en el que identifiquen si se trata de un material sintético o natural; mencionen sus propiedades y usos; si tiene resistencia mecánica, si es flexible, cómo serían sus cadenas. Se sugiere que incluyan un modelo tridimensional del monómero(s) del polímero que escogieron.

Nota para el profesor

Se sugiere que el cuestionario lo contesten como tarea a casa individualmente y ya en clase que compartan con otro compañero sus respuestas para realimentarlas. Realizar en plenaria la revisión de las respuestas.

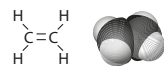
9.2. Macromoléculas

9.2.1. ¿QUÉ SON LOS POLÍMEROS?

Los **polímeros** son moléculas de gran tamaño, constituidas por “eslabones” orgánicos denominados monómeros, unidos mediante enlaces covalentes. Los eslabones están formados, fundamentalmente, por átomos de carbono y pueden poseer grupos laterales o radicales con uno o más átomos. Estas moléculas orgánicas son las que constituyen los materiales plásticos que conocemos y también los tejidos de los seres vivos (piel, músculos, tela de araña, seda, etc.).

¿Cuánto miden?

Una macromolécula está constituida por cientos de miles de monómeros. La polimerización se produce en un reactor que contienen los monómeros y demás reactivos o catalizadores necesarios para producir largas cadenas.



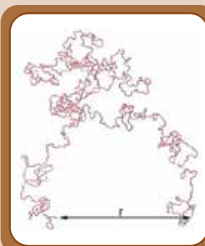
Por ejemplo, una molécula de polietileno (PE) está formada por monómeros de etileno como los esquematizados en la figura. Cada monómero está formado por 2 átomos de C y 4 de H; el peso molecular de este eslabón es 28 g/mol.



La figura ilustra una macromolécula de PE con el modelo de esferas, donde las esferas negras y blancas corresponden a los átomos de carbono e hidrógeno, respectivamente.

Usualmente la cadena se dobla sobre sí misma al azar como se ve en la imagen. A través de la Mecánica estadística se puede demostrar que la distancia entre los extremos de la cadena es $r = \sqrt{n}l$, donde n es la cantidad de monómeros y l la longitud de cada uno.

Si consideramos una cadena de PE de peso molecular 300.000 g/mol, ¿Qué cantidad de eslabones constituyen la cadena? ¿Cuál es el peso de una cadena? ¿Cuál es la longitud de la cadena extendida y cuál la separación entre extremos libres si está ovillada? Considere que la longitud del enlace C-C es 0,154 nm.



9.2.2. ¿CÓMO SE LOS PRODUCE?

Los polímeros sintéticos se producen mediante un proceso denominado polimerización. En este proceso se produce la reacción de miles de monómeros que pasan a formar parte de una larga cadena macromolecular⁴. Existen dos tipos de polimerización: de adición o crecimiento de cadena y de condensación o crecimiento por pasos.

⁴ Más información sobre polimerización en Macrogallería Nivel 4 <http://www.ps.lc.ws/spanish/floor4.htm>.

La polimerización por crecimiento de cadena se caracteriza porque los intermediarios del proceso (radicales libres, iones o complejos metálicos) son transitorios y no pueden aislarse.

La polimerización por pasos se produce por reacciones entre moléculas que tienen grupos funcionales. A los compuestos intermediarios de peso molecular bajo se les llama oligómeros, y se pueden aislar. Se le puede describir como una reacción química sencilla que se efectúa repetidamente.

El grado de polimerización de la cadena es equivalente al número de sub-unidades o monómeros empleados para formar dicha cadena. Por ejemplo, para el polietileno el grado de polimerización puede variar de 3.500 a 25.000.

Para producir polímeros a escala industrial las materias primas básicas empleadas son gas natural, carbón, y petróleo. El proceso químico de la polimerización es complejo y diverso; el ingeniero químico es quien se destaca en el control de este proceso. Algunos de los métodos de polimerización más importantes son los siguientes:

- **Polimerización en bloque o fase condensada:** El monómero y un iniciador se combinan en un recipiente (reactor) y se calientan o enfrían según se requiera. Se debe controlar estrictamente la temperatura. Este proceso es de amplia utilización en polimerización por condensación cuando un monómero se ha cargado en el reactor y el otro se va adicionando de a poco. El proceso puede emplearse globalmente para muchas condensaciones de polímeros por su baja temperatura de reacción. Ej. PMMA.
- **Polimerización en solución:** El monómero se disuelve en un solvente no reactivo que contiene un catalizador. El calor desprendido por la reacción es absorbido por el solvente y entonces la velocidad de reacción se reduce. Es difícil eliminar todo el solvente. Ej. PP.
- **Polimerización en suspensión:** El monómero y el catalizador se suspenden en forma de gotitas en una fase continua como el agua. El calor producido por la reacción es absorbido por el agua; se requiere agitación continua. Después del proceso el producto polimerizado se separa y deshidrata. Este método se emplea de modo generalizado para producir varios polímeros vinílicos.. Ej. PVC, PS, poliacrilonitrilo.
- **Polimerización por emulsión:** Es un proceso similar al de suspensión puesto que se lleva a cabo en agua. En este caso el monómero es absorbido dentro de unas micelas creadas por un agente emulsificante, como el jabón, y dentro se produce la polimerización. Ej. Pinturas.

Datos Sobre Síntesis

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Uno de los competidores fue el John Wesley Hyatt, quien presentó el celuloide que si bien no ganó el premio tuvo un notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas,

en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin éste, no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. Puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland sintetizó un copolímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar. No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, y podía mecanizarse fácilmente. Se lo bautizó con el nombre de baquelita (o bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia. Con él se produjeron piezas aislantes eléctricas y comenzó el desarrollo de un sinnúmero de productos como el teléfono que se muestra en la figura.



El alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular de la baquelita le confiere la propiedad de ser un plástico termoestable, es decir que una vez que se enfría la baquelita no puede volver a ablandarse. Esto la diferencia de los polímeros termoplásticos, que pueden fundirse y moldearse varias veces ya que sus cadenas no presentan entrecruzamiento.

Los polímeros comercialmente más importantes de la actualidad se sintetizan y producen a gran escala. Las reacciones de polimerización pueden o no requerir la presencia de un catalizador. Un área de gran relevancia en las investigaciones de nuestros días es aquella dedicada a la síntesis de biopolímeros a escala de laboratorio, especialmente para generar proteínas artificiales.

9.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS

Hay diferentes maneras de clasificar a los polímeros. Podemos subdividir según su origen, o considerando la estructura de las macromoléculas o también según su uso, como veremos a continuación.

* Según su origen

• Naturales:

Son sustancias producidas por organismos vivos que se emplean sin modificación. Ejemplos de estos polímeros son: proteínas como las empleadas por las arañas para tejer su tela⁵, polisacáridos, caucho natural.

• Sintéticos:

Son macromoléculas creados por el hombre y se dividen en dos categorías según su comportamiento al ser calentados: termoplásticos y termorrígidos. Los primeros al calentarse se ablandan o funden, y son solubles en disolventes adecuados. Están formados por moléculas de cadenas largas, a menudo sin ramificaciones. Los termorrígidos, en cambio, se descomponen al ser calentados y no pueden fundirse ni solubilizarse. Tienen estructuras elaboradas tridimensionales con reticulación.

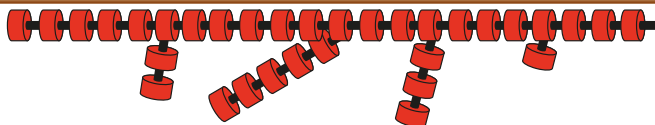
⁵ Las fibras de seda de araña poseen elevada resistencia, deformabilidad y son apropiadas para absorber impactos. Por ello se dedican importantes esfuerzos a intentar producir fibras de proteínas similares a las de la seda de araña mediante ingeniería genética. <http://www.mater.upm.es/polimeros/SedaArana.htm>

* Según la estructura de la cadena

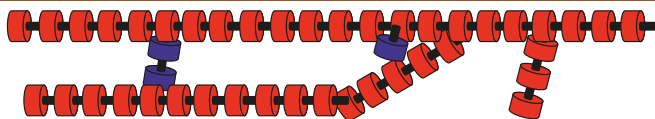
- **Lineal:** Se repite siempre el mismo tipo de unión.



- **Ramificado:** Con cadenas laterales unidas a la principal.

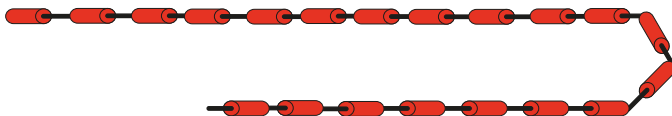


- **Entrecruzado:** Si se forman enlaces entre cadenas vecinas.

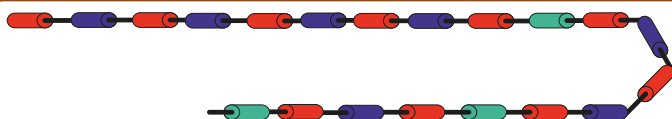


- **Homopolímero**

Los **homopolímeros** son aquellos polímeros en los que todos los monómeros que los constituyen son iguales. Los **copolímeros** están formados por dos o más monómeros diferentes.



- **Copolímero**



* Según su respuesta termo-mecánica:

Los materiales poliméricos se pueden clasificar en cinco grupos:

• Termoplásticos

Como su nombre lo indica, se comportan de manera plástica a elevadas temperaturas. Más aún, la naturaleza de sus enlaces no se modifica radicalmente cuando la temperatura se eleva, razón por la cual pueden ser conformados a temperaturas elevadas, enfriados y después recalentados o reconformados sin afectar el comportamiento del polímero. Los polímeros termoplásticos son lineales.

• Termorrígidos

Los polímeros termorrígidos también denominados termoestables son polímeros reticulados durante la reacción de polimerización o mediante la introducción de entrecruzamientos químicos (cross links). Este reticulado no permite que estos polímeros sean reprocesados después de que han sido conformados.

• Elastómeros

Los elastómeros también denominados cauchos o hules tienen un comportamiento térmico que puede variar de termoplástico a termorrígido según su estructura sea lineal o reticulada. La clasificación se realiza en base a su comportamiento mecánico: se trata de materiales poliméricos que tienen la capacidad de deformarse mucho más que el 300% en forma elástica, esto es, cuando se remueve la fuerza aplicada para estirarlos recuperan sus dimensiones originales. Esto se debe a que las largas cadenas poliméricas se encuentran enrolladas e idealmente podemos decir que, cuando se aplica un esfuerzo para estirar la muestra, las cadenas lineales se desenredan. Cuando se libera el esfuerzo las cadenas vuelven a enrollarse y el polímero regresa a su forma y tamaño originales. Sin embargo, esta es sólo una idealización del comportamiento de las macromoléculas ya que las cadenas no sólo se desenrollan sino que también deslizan unas sobre otras, de modo que al eliminar el esfuerzo aplicado desaparece la deformación elástica (instantánea y reversible) pero puede quedar una deformación remanente (deformación plástica, debida al deslizamiento).

• Adhesivos

Tienen cierto grado de extensibilidad, alta adhesión pero conservando cierto grado de cohesión. Suelen tener baja cristalinidad.

• Recubrimientos de superficies

Sus características son similares a las de los adhesivos, pero además tienen gran resistencia a la abrasión. Se usan para proteger y decorar.

• Fibras

Pueden tejerse o enlazarse para formar prendas dimensionalmente estables; es necesario que no cedan demasiado. Deben ser resistentes y con tendencia a la cristalización.

9.3.3. RAMIFICACIÓN

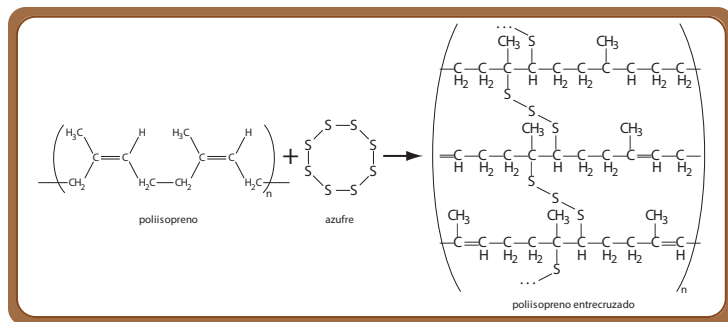
La ramificación de las cadenas poliméricas también afectan las propiedades de los polímeros. Las ramificaciones largas pueden incrementar la resistencia, tenacidad y la T_g debido al aumento en el número de entrecruzamientos por cadena. Las ramificaciones cortas y aleatorias, en cambio, pueden reducir la resistencia de los polímeros debido a la perturbación en la organización estructural. En efecto, las cadenas cortas al igual que los grupos funcionales grandes reducen la posibilidad de cristalización; esta reducción trae aparejado un aumento en la transparencia debido a que en las regiones cristalinas se dispersa la luz.

El polietileno constituye un buen ejemplo de los cambios físicos debidos a la ramificación de cadenas. El polietileno de alta densidad (PEAD, o su sigla en inglés HDPE) con un bajo grado de ramificaciones es bastante resistente mientras que el de baja densidad (PEBD, o su sigla en inglés LDPE) con gran cantidad de ramificaciones es bastante flexible.

9.3.4. ENTRECRUZAMIENTOS

Se puede impedir la deformación plástica de los elastómeros y a la vez mantener una gran deformación elástica si se introducen enlaces químicos entre las cadenas, a los que denominaremos entrecruzamientos⁷. Por ejemplo, en la vulcanización el entrecruzamiento químico se realiza con azufre, pero existen otras tecnologías como los sistemas basados en peróxidos. Se suelen usar combinadamente con agentes aceleradores y retardadores.

El azufre es un material con singulares propiedades. En determinadas circunstancias, formará cadenas de sus propios átomos; el proceso de vulcanización hace uso de este fenómeno. A lo largo de la molécula del caucho, hay un número de sitios que son atractivos para los átomos de azufre, son los llamados sitios de cura caracterizados por el doble enlace de carbono. En cada sitio de cura, un átomo de azufre se puede unir a sí mismo, y a partir de allí la cadena de átomos de azufre puede crecer hasta que alcance el sitio de cura de otra molécula. Estos puentes de azufre son usualmente de 2 a 10 átomos de largo, en contraste con los polímeros más comunes en los que la "columna vertebral" de carbonos pueden ser varios miles de veces de larga.



Los entrecruzamientos tienden a incrementar la temperatura de transición vítrea, la resistencia a la tracción y la tenacidad de los elastómeros. Por ejemplo, las gomas empleadas en los neu-

⁷ Por su denominación en inglés: cross-links

máticos tienen un alto grado de vulcanización a fin de reducir la pérdida de aire, aumentar su tenacidad y duración. La goma de borrar, en cambio, no presenta entrecruzamientos para permitir que se desprendan pedacitos con la fricción realizada al borrar, sin romper el papel.

La vulcanización

La mayoría de los libros de texto dicen que Charles Goodyear fue el primero en usar azufre para vulcanizar el caucho. Dependiendo del lector, la historia de Goodyear es de pura suerte o de una cuidadosa investigación.

Goodyear clamó que le correspondía el descubrimiento de la vulcanización basada en azufre en 1839, pero no patentó su invento hasta el 5 de julio de 1843, y no escribió la historia de su descubrimiento hasta 1853 en su libro autobiográfico, **Gum-Elastica**. Mientras tanto, **Thomas Hancock** (1786-1865), un científico e ingeniero, patentó el proceso en el Reino Unido el 21 de noviembre de 1843, ocho semanas antes que Goodyear ejerciera su propia patente en el Reino Unido. La Goodyear Tire And Rubber Company adoptó el nombre de Goodyear por sus actividades en la industria del caucho, pero no tenía ninguna otra relación con Charles Goodyear y su familia.

Aquí está el relato de Goodyear sobre su invención, tomada de Gum-Elastica. Aunque el libro es una autobiografía, Goodyear eligió escribirlo en tercera persona, así que 'el inventor' y 'él' se refieren en el texto al autor. Así nos cuenta... El inventor hizo muchos experimentos para verificar los efectos del calor en el mismo compuesto que se había descompuesto en las bolsas de correo y otros artículos. Él se sorprendió al encontrar que el espécimen, siendo descuidadamente puesto en contacto con una estufa caliente, se achicharraba como el cuero.

Goodyear intentó llamar la atención de su hermano y otros trabajadores en la planta, familiarizados con el comportamiento del caucho disuelto; Goodyear afirma que intentó decirles que el caucho se derretía cuando se calentaba excesivamente, pero ellos lo siguieron ignorando.

Goodyear infirió directamente que si el proceso de achicharramiento podía ser detenido en el punto correcto, podría hacer que el caucho se librara de sus adhesivos nativos, lo que implicaría una mejora sustancial sobre la goma nativa. Se convenció más de la validez de su intuición al descubrir que el caucho de la India no podía derretirse en azufre hirviendo ya que siempre se achicharraba. Aumentó su entusiasmo por lograr el resultado deseado, cuando sobre el borde de una porción achicharrada de goma aparecía una línea que no estaba achicharrada, sino perfectamente curada. Así lo describe... Cuando se cercioraba de que había encontrado el objeto de su búsqueda y mucho más, y que la nueva sustancia era resistente al frío y al solvente de la goma nativa, él se sintió ampliamente recompensado por el pasado y bastante indiferente a las pruebas del futuro⁸.

9.3.5. ADITIVOS

La mayoría de los polímeros contiene aditivos que, como veremos a continuación, se clasifican según las características especiales que le imparten al material.

⁸ Obtenido de "<http://es.wikipedia.org/wiki/Vulcanización>"

Lectura 10: Polímeros, un mundo aparte

Ficha de referencia

Alexandrova, L.(2003). Polímeros, un mundo aparte. *Materiales Avanzados*. Instituto de Investigaciones en Materiales. UNAM. Año 1, Num, 1, p. 7-14.

Disponible en

<https://www.iim.unam.mx/revista/pdf/numero1.pdf>

Sinopsis

El artículo presenta con precisión los diferentes mecanismos de polimerización: el de condensación (por pasos) y el de adición (en cadena o de radicales libres); de cada uno de ellos enlista sus características y señala ejemplos en cada caso.

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizaje: A6. (H, V) Explica las diferencias entre la polimerización por adición y la polimerización por condensación, a partir de la obtención en el laboratorio, de diversos materiales poliméricos para reconocer la importancia de las condiciones de reacción y valorar la importancia de la síntesis química. (N3)

Justificación. El contenido del artículo atiende parcialmente el propósito de la unidad el cual señala que el alumno valorará la importancia de la síntesis química en el desarrollo de materiales que impactan a la sociedad en diversos ámbitos.

Descripción de la actividad

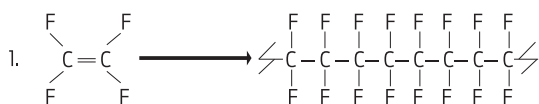
1. Con base en la información del artículo, los alumnos (individualmente) deben construir una tabla comparativa sobre las características y ejemplos de los dos mecanismos de síntesis de polímeros.
 - a) Con la información del artículo, construye la siguiente tabla comparativa de las dos diferentes reacciones para obtener polímeros:

Tipo de reacción	Adición (en cadena o de radicales libres)	Condensación (por pasos o etapas)
Características		

Ejemplo de polímeros		
----------------------	--	--

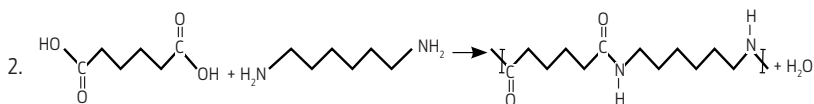
b) Después de concluir la actividad, reúnete con otro compañero para completar tu cuadro.

2. En parejas, pedir a los alumnos que con la información de su cuadro comparativo, clasifiquen las siguientes ecuaciones de polimerización:
3. Considera las características de tu tabla comparativa y clasifica las siguientes ecuaciones en adición o condensación.



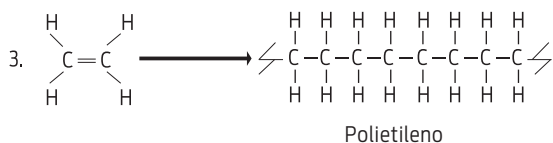
Politetrafluoroetileno (PTFE)

Tipo de polimerización:_____



Nylon 6,6

Tipo de polimerización: _____



Tipo de polimerización: _____

Nota para el profesor

Se sugiere que el cuadro comparativo lo construyan como tarea a casa individualmente y ya en clase lo compartan con otro compañero para completarlo. En plenaria revisar la tabla. Posteriormente que las parejas de alumnos realicen la actividad de las ecuaciones.

Polímeros, un mundo aparte

Larissa Alexandrova

Introducción

No es original decir que los polímeros sintéticos o plásticos, a diferencia de las enzimas que también se pueden considerar como polímeros, se han involucrado con nosotros desde nuestro nacimiento. Los polímeros son materiales muy utilizados en la vida diaria; la gran mayoría de los objetos y los utensilios que vemos, tenemos y usamos cotidianamente están elaborados con ellos. Los polímeros se usan para fabricar zapatos y ropa, en especial deportiva, la cual requiere más fuerza, mayor resistencia y menos peso. También se encuentran en las computadoras y en otros equipos electrónicos, en lentes y anteojos, contenedores y empaques, vehículos de motor (15% del peso total de los automóviles modernos es de plástico), construcciones (tubos, juntas, tornillos, etcétera) y

en la industria aerodinámica. Los plásticos son tan familiares que nombres como rayón, nylon, spandex y códigos como PE, PS, PP y PET son conocidos por todos. ¡Están hasta en la cara de las muñecas y en los cochecitos de carreras!

Los plásticos tienen una posición privilegiada dentro de la gama de materiales que se emplean en la construcción de maquinaria, gracias a su fácil producción y a su excelente resistencia a agentes mecánicos y químicos. Los polímeros modernos de altas presiones son los materiales preferidos para equipos de impulsión y transporte, debido a propiedades como la tenacidad, la amortiguación y la alta resistencia al desgaste. En ese sector y dado que pesan ocho veces menos que el acero, los plásticos ofrecen, además de poco peso, menos ruido y excelentes propiedades de marcha en seco.



Fronteras naturales Larissa Alexandrova, 1994. Óleo sobre tela (100 x 120 cm). Detalle.

Mecanismos de polimerización

El crecimiento de la cadena polimérica en el proceso por pasos procede en etapas, con reacciones entre grupos funcionales de los monómeros. El tamaño de la molécula del polímero crece durante todo el proceso y el polímero de alto peso molecular se forma en las últimas etapas de reacción, es decir, a altas conversiones mayor es el peso molecular. Al principio, dos moléculas de monómero reaccionan y forman el dímero, después el trímero, el tetrámero, etcétera.

Es importante reconocer que en el proceso el monómero desaparece rápido desde el principio, convirtiéndose en varios tipos de oligómeros (moléculas de relativamente bajo peso molecular, como los dímeros y trímeros), pero la cadena polimérica crece durante todo el proceso. La mayor parte de los plásticos

para ingeniería se obtienen de esa manera. Los ejemplos son poliésteres (como el PET), policarbonatos, poliamidas (nylon) y poliuretanos.

La polimerización por crecimiento de cadena requiere de un iniciador, que produce la especie activa, promoviendo el crecimiento de la cadena. El centro activo puede ser un radical libre, un ion (anión o catión) o un enlace catalizador-polímero. En cada caso, la polimerización adquiere un nombre, llamándose radicales libres, iónica (aniónica o catiónica) o de coordinación, respectivamente. La polimerización resulta de la propagación del centro activo, por medio de la adición de muchas moléculas monoméricas. El monómero puede reaccionar solamente con el centro activo, no reacciona con otra molécula de monómero. La terminación del proceso ocurre cuando se destruye el centro activo. Para el caso clásico de polimerización por crecimiento de cadena, el peso molecular del polímero obtenido no depende de la conversión; las grandes moléculas se presentan en el sistema desde el principio.

La polimerización por el mecanismo de radicales libres es el método más usado en el mundo; casi 50% de todos los polímeros producidos se ha obtenido por este método (alrededor de 108

temperaturas muy altas o bajas (lo que representa un menor gasto de energía); no es sensible al agua, al dióxido de carbono (CO_2) ni al oxígeno, y por eso puede ocurrir en emulsiones, suspensiones y en sistemas no aislados; pero también tiene desventajas: la mayor es la dificultad para controlar el proceso, con lo cual es difícil regular el peso molecular y la composición del polímero. Todos los polímeros que dominan el mercado, como el polietileno de baja densidad (PVC), el poliestireno y los poliácrlatos, se obtienen de esta forma. El volumen de polímeros que se sintetizan con esta técnica la convierten en la principal.

Caracterización de los polímeros

Como ya se mencionó, el peso molecular es una de las principales características de los polímeros. En éstos el peso molecular no es como en otros compuestos químicos, que tienen pesos moleculares definidos y determinados; por ejemplo, el agua, H_2O : su peso molecular se calcula como la suma de los pesos moleculares de los átomos de hidrógeno y oxígeno.

Con los polímeros la situación es diferente. Consideremos, por ejemplo,



Figura 4. Algunos de los polímeros que dominan el mercado.

lar promedio. Dependiendo de la forma como se calcule o determine, del mismo material polimérico se obtienen varios pesos moleculares promedio, los cuales reflejan las propiedades del material. El control del peso molecular es muy importante. Largas cadenas poliméricas garantizan buenas propiedades mecánicas, pero las cortas facilitan el procesamiento térmico. Ésta es una de las razones por las cuales existen varios tipos de los mismos polímeros en el mercado.

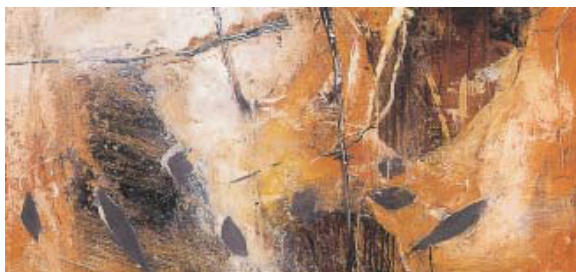
Como todas las moléculas de un polímero son diferentes, debido a su tamaño, se introdujo una característica

La polimerización por radicales libres es el método más viejo y tradicional para la obtención de polímeros

toneladas por año). ¿Por qué es tan popular y qué ventajas tiene frente a otros métodos de polimerización? Una de las ventajas más importantes es que casi todas las moléculas vinílicas (moléculas que contienen doble enlace $\text{C}=\text{C}$) pueden ser polimerizadas por este procedimiento. Dependiendo de los grupos funcionales enlazados a los carbonos que forman el doble enlace, se podrá obtener una gran variedad de polímeros con diferentes propiedades. En términos del mercado, este método es más barato que otros, porque no requiere condiciones de alta pureza ni

el polietileno, que es el polímero más simple estructuralmente; el monómero es el etileno. Una molécula de polietileno puede contener 1 000 000 moléculas de etileno, pero otra molécula puede tener 1000023, una tercera 9999865 monómeros y otra más 100 000. Esto significa que entre los polímeros sintéticos (no los biológicos, como el DNA) no hay dos iguales. Por su tamaño, todos son diferentes, pero a todos se les considera como moléculas del mismo polímero. Por eso, siempre que se menciona el peso molecular de cualquier polímero, se dice el peso molecu-

para mejorar la clasificación. Esta propiedad se conoce como polidispersidad (PD), y caracteriza al polímero y al proceso de polimerización. Cuando PD es igual a 1, todas las moléculas son iguales por tamaño; es el caso de los polímeros biológicos, como las enzimas. Los polímeros sintéticos nunca se encuentran en esta clasificación, pues su PD varía de 1.05 hasta 20 o más. Los polímeros menos polidispersos (menor valor de PD) son más adecuados para la mayoría de las aplicaciones, y en ocasiones es críticamente importante tener un polímero uniforme en este aspecto.



Abismos de arena, Artema Palacios, 1994. Óleo sobre tela (100 x 120 cm). Detalle.

La menor polidispersidad que puede obtenerse para polímeros sintéticos está alrededor de 1.1, normalmente, y se logra en procesos llamados "vivientes".

Polimerización "viviente"

La polimerización "viviente" se refiere al proceso en el cual el centro activo, desde que se forma, siempre se ubica en la misma molécula. En este proceso no hay reacciones de transferencia del centro activo a otras moléculas, y tampoco reacciones de terminación que maten el centro; por eso se dice que el centro sigue "vivo" en el proceso de polimerización. La polimerización se detiene cuando se acaba el monómero. Como el centro activo no se destruye, al agregar más monómero ocurre de nuevo la polimerización. Con la técnica de polimerización "viviente" es posible obtener moléculas más parecidas en tamaño e incluso, con el reactivo apropiado, controlar los grupos terminales cuando se da por concluido el proceso de polimerización viviente.

Hasta los años noventa, la polimerización iónica fue la única técnica para la polimerización "viviente"; desafortunadamente, sólo un limitado grupo de monómeros puede ser polimerizado con la técnica iónica. Además, los centros activos en procesos iónicos son carbocationes o carboaniones muy sensibles a los disolventes polares (como el agua y los alcoholes); con esto se desactivan los centros iónicos. Por la misma razón, estos procesos son muy

sensibles a varias impurezas, que pueden atrapar o desactivar los centros activos. Asimismo, en muchos casos se requieren temperaturas bajas para eliminar efectivamente el calor que se libera del sistema durante la polimerización. Las reacciones de polimerización son exotérmicas y las iónicas, específicamente rápidas.

Polimerización "viviente" por radicales libres

La polimerización por radicales libres es el método más viejo y tradicional para la obtención de polímeros. La investigación detallada del proceso empezó en

los años treinta y alcanzó su máximo en los sesenta y setenta, cuando se publicaron la mayoría de los artículos y libros clásicos. En la década de los ochenta, los investigadores del área pensaban que sabían todo sobre el proceso. ¿Quién podría pronosticar que la investigación tendría un segundo aire en nuestros días, cuando los investigadores comenzaron a estudiar el mismo proceso, pero ahora desde el punto de vista del control de peso y de los grupos terminales? Lo que se ha encontrado es que es posible controlar la polimerización radicalica. Para poder explicar cómo es, en la figura 5 se ilustran todas las etapas del proceso.

La polimerización por radicales libres puede dividirse en cuatro etapas principales: iniciación, propagación, transferencia y terminación. Normalmente, el crecimiento, la terminación y la transferencia son más rápidos que la iniciación. La presencia de reacciones de transferencia y terminación de la cadena hacen que el control del peso molecular y la estructura polimérica sea casi imposible. Por eso, los polímeros obtenidos con el proceso de radicales libres tienen pesos moleculares grandes y son muy polidispersos.

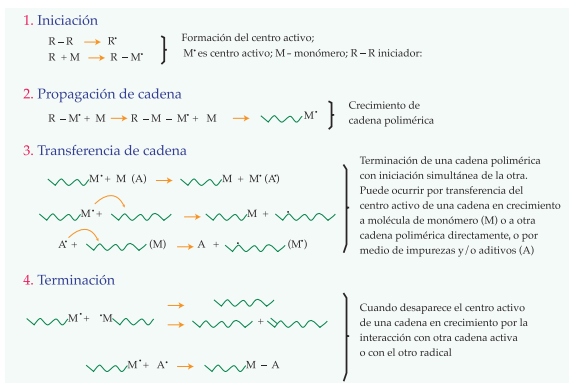


Figura 5. Proceso de polimerización por cadena.

Lectura 11: Polímeros

Ficha de referencia

Gamboa Suárez, Antonio (2018). Polímeros. *Educación Química*. 6, p. 104-110.

Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/327407082_Polimeros

Sinopsis

El artículo presenta conceptos básicos de los polímeros, además incluye las características de las dos reacciones de polimerización más comunes y describe experimentalmente como se obtiene el nylon y la modificación de las propiedades de un polímero como el alcohol polivinílico al usar tetraborato de sodio..

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizaje. A6. (H, V) Explica las diferencias entre la polime-

rización por adición y la polimerización por condensación, a partir de la obtención en el laboratorio, de diversos materiales poliméricos para reconocer la importancia de las condiciones de reacción y valorar la importancia de la síntesis química. (N3)

Justificación. El contenido del artículo atiende parcialmente el propósito de la unidad el cual señala que el alumno valorará la importancia de la síntesis química en el desarrollo de materiales que impactan a la sociedad en diversos ámbitos.

Descripción de la actividad

1. Solicitarle al alumno que después de leer el artículo, coloque la palabra adición o condensación según corresponda la aseveración:
 - a) De acuerdo con el artículo, identifica el tipo de reacción que corresponde a cada enunciado (adición o condensación).
 - i. Son reacciones altamente exotérmicas.
 - ii. Los monómeros tienen dobles enlaces.
 - iii. La producción de nylon se lleva a cabo mediante una reacción de...
 - iv. Es una reacción muy lenta.
 - v. Se lleva a cabo en tres etapas: iniciación, propagación y terminación.
 - vi. Se forman radicales libres.
 - vii. Los monómeros que van a reaccionar tienen grupos funcionales.

- viii. Se llevan a altas temperaturas y en presencia de un catalizador.
 - ix. Se utiliza frecuentemente peróxidos.
 - x. La reacción termina al unirse dos radicales que se consumen.
2. Pedirle al alumno que responda el siguiente cuestionario a partir de la lectura del artículo.
- a) Describe cómo se obtuvo el primer polímero sintético y anota el nombre de éste.
 - b) ¿Qué propiedades cambian entre el monómero y el polímero, justifica por qué cambian?
 - c) ¿Cuáles son las dos reacciones de polimerización que señala el artículo?
 - d) ¿Qué monómeros se utilizan para obtener el nylon?
 - e) *Grosso modo*, señala las condiciones de reacción para obtener alguno de los nylon.
 - f) Explica en qué consiste el proceso “vulcanización”.
 - g) Se sugiere que el alumno desarrolle un informe experimental teórico de la síntesis del nylon 6,10 que se describe al final de la página 105 y en la página 106: identificar materiales y sustancias que se usan, metodología experimental, describir el resultado, tipo de polimerización y colocar la ecuación de polimerización del nylon.

Nota para el profesor

Aclarar al alumno que la reacción por pasos que menciona el artículo es la también llamada reacción de condensación. Se sugiere que el profesor determine qué actividad se realiza primero, ya que la del inciso a) sólo se enfoca a las reacciones de polimerización y la del inciso b) considera otras temáticas del programa. Ambas actividades se pueden realizar como tarea a casa y después se pueden trabajar en el aula laboratorio en parejas y después en plenaria.

PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR

Polímeros

Antonio Gamboa Suárez*

Coordinación:

Gilda Irazoque Palazuelos,
Vicente Talanquer Artigas y
Andoni Garritz Ruiz

PARA SABER...

¿Podemos imaginar cómo sería nuestro mundo sin la existencia de plásticos, hules, pinturas y fibras sintéticas? La mayoría de los objetos que nos rodean y que utilizamos en la vida cotidiana están hechos o tienen partes elaboradas con alguno de estos productos y nos parece tan familiar su existencia que no nos ponemos a pensar cómo llegaron a existir ni de qué están formados. Todos estos objetos tienen en común el hecho de estar constituidos por *polímeros*.

El término *polímero* viene del griego *polys*, muchos y *meros*, parte principal (Lipscomb, 1989). Básicamente, un polímero es una molécula gigante (macromolécula), construida a partir de unidades químicas simples, llamadas *monómeros*, que se repiten a lo largo de la molécula (Billmeyer, 1971). Por ejemplo, una molécula de etileno ($\text{CH}_2 = \text{CH}_2$), puede ser la unidad básica, a partir de la cual podemos fabricar polietileno ($-(\text{CH}_2-\text{CH}_2)-_n$), usado, entre otras cosas, para fabricar envases de plástico.

Los polímeros o macromoléculas naturales han existido desde el surgimiento de la vida en la Tierra. Algunos carbohidratos, las proteínas y los ácidos nucleicos, así como el caucho y otras gomas naturales, son *polímeros*. De hecho, una buena parte de nuestro cuerpo está constituida por ellos, y más aún, los procesos a partir de los cuales surge la vida dependen de los cambios químicos que sufren los ácidos nucleicos al momento de formarse y reorganizarse.

El primer polímero sintético fue obtenido por el inventor norteamericano John Wesley Hyatt (1837-1920), al participar en un concurso en el que se premiaría al que encontrase un sustituto del marfil de las bolas de billar. Empezó a trabajar con la pirroxilina, la disolvió en una mezcla de alcohol y éter y le añadió alcanfor para hacerla más firme y maleable. Hacia 1869 había formado el primer polímero sintético, al cual llamó *celuloide*, que le acreditó el premio (Asimov, 1989).

Posteriormente, partiendo del hecho de que la pirroxilina pudo moldearse en forma de esferas, se pensó que tal vez podía dársele otras formas. En 1884, el químico Luis Marie Hilaire Berignaud, conde de Chardonnet (1839-1924), obtuvo la primera fibra sintética a la que denominó rayón; y el inventor americano George Eastman (1854-1932) elaboró la primera película de celuloide que se empezó a utilizar en fotografía. La carrera por descubrir nuevos materiales comenzó entonces y continúa hasta nuestros días en que podemos disfrutar de una exuberante can-

tidad de diferentes productos fabricados a partir de polímeros sintéticos.

La importancia de los polímeros radica en la gran diversidad de propiedades que presentan. Algunos polímeros son rígidos, otros flexibles y pueden moldearse. Algunos son estables a altas temperaturas, otros no. Algunos son duros mientras que otros son blandos. Existen materiales que presentan propiedades hidrofóbicas, por lo que se usan como impermeables. Algunos son usados como aislantes eléctricos, etcétera. De tal forma que se pueden sintetizar materiales para una gran variedad y cantidad de usos prácticos. Así pues, no es difícil explicarse la enorme importancia tecnológica de estos materiales y el porqué los polímeros ocupan un lugar, por el momento insustituible, en la vida diaria de todo ser humano.

Esta gran diversidad puede explicarse al analizar las propiedades de estas moléculas. Las propiedades químicas son muy similares a las del monómero que se utiliza como unidad básica. Las propiedades físicas, por el contrario, difieren de las del monómero empleado, debido a que, como la molécula de polímero es muy grande, existen interacciones electrostáticas entre las unidades de una misma cadena polimérica (intramoleculares), y entre las diferentes cadenas (intermoleculares), factores muy importantes que determinan las propiedades del polímero.

De lo anterior se desprende que al controlar, por ejemplo, el peso molecular del polímero formado, podemos obtener una gran variedad de materiales con viscosidades y resistencias a la tensión y al impacto distintas, a partir de un mismo monómero. El control del peso molecular se puede lograr aumentando o disminuyendo el tiempo de reacción, modificando la presión o la temperatura, cambiando el catalizador utilizado, etcétera.

Existen muchas maneras de clasificar a los polímeros. Una de éstas toma en cuenta la forma como están acomodadas las cadenas poliméricas y los divide en amorfos, en los que las cadenas se distribuyen de manera azarosa y desordenada, y cristalinos, cuyo arreglo sigue una estructura bien definida. Otra clasificación se basa en el comportamiento térmico de los polímeros y los separa en termoplásticos y termofijos. Los primeros pueden ser fundidos cuantas veces se quiera para volver a moldearlos, ya que el proceso de fusión no altera sus propiedades; mientras que los segundos se descomponen con el calentamiento debido a que las interacciones electrostáticas son tan fuertes que exceden en magnitud a las de los enlaces químicos de la molécula. Una tercera clasificación se relaciona con el tipo de reacción involucrada en la síntesis del polímero y que los distingue en polímeros de adición y polímeros por pasos. Ésta será tratada en detalle más adelante.

* Estudiante de la Facultad de Química de la UNAM. Favor de enviar la correspondencia sobre este artículo al apartado postal de la revista

Recibido: 16 de octubre de 1994; Aceptado: 26 de febrero de 1995.

PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR

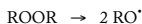
La amplia gama de propiedades que presentan los polímeros necesariamente implica una gran variedad de técnicas experimentales para sintetizarlos, y esto bien podría ser el pretexto para entrar al laboratorio.

EXPERIMENTAR...

Al principio, los polímeros sintéticos se obtenían por procesos de prueba y error, pues se sabía poco sobre la estructura de estas moléculas gigantes o los detalles de las reacciones involucradas en su formación. Por suerte, en la actualidad, la manera en que se unen los monómeros para formar moléculas gigantes no es ningún misterio. Muy por el contrario, la química moderna puede prácticamente diseñar su producto final, teniendo en cuenta que los procesos de polimerización pueden seguir dos caminos: polimerización por adición y polimerización por pasos, y controlando factores como temperatura, presión, tiempo de reacción y catalizadores.

Para producir un polímero de adición se utilizan comúnmente moléculas de monómero con dobles ligaduras y el mecanismo se lleva a cabo en tres etapas principales. En la inicial, la molécula se convierte en una especie activa que puede ser un radical libre, un anión, un catión o un complejo de coordinación. Para esto, es necesaria la presencia de un *iniciador* de la reacción que frecuentemente es un peróxido, debido a la facilidad con la que éstos forman radicales libres. Una vez formada, la especie activa ataca a una segunda molécula de monómero, dando como resultado un dímero que continúa siendo una especie activa y puede seguir reaccionando. De esta manera la reacción se propaga y se forma una molécula gigante. La polimerización termina con reacciones tales como la unión de dos radicales que se consumen pero no se regeneran. Una de las más comunes es la terminación por acoplamiento, en la que dos especies activas reaccionan entre sí, dando lugar a un polímero inactivo.

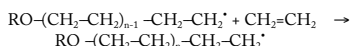
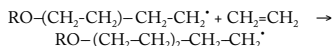
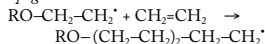
En virtud de que en cada paso se consume una partícula reactiva y se produce otra susceptible también de reaccionar, a este tipo de mecanismos se les conoce como reacciones en cadena (Morrison, 1990), y la síntesis de polietileno es un ejemplo:



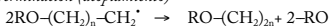
Iniciación



Propagación



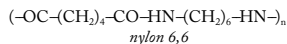
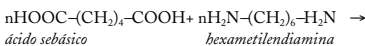
Terminación (acoplamiento)



Una vez que ocurre la etapa de iniciación, el avance de la reacción es muy rápido y se requieren muy pequeñas concentraciones de especies activas en la mezcla. Las reacciones de adición, en general, son altamente exotérmicas y dan como productos polímeros de alto peso molecular (Harris, 1981).

Por otro lado, la polimerización por pasos normalmente emplea dos monómeros diferentes con grupos funcionales en ambos extremos, que reaccionan entre sí paso a paso para dar como resultado un polímero. Este mecanismo de reacción, en comparación con el anterior, es lento, necesitando varias horas y en ocasiones hasta días para concluir, debido a que las especies reaccionantes tienen energías de activación muy altas. Para acelerar el proceso y abatir las energías de activación de las especies, frecuentemente la reacción se lleva a cabo a alta temperatura y en presencia de un catalizador, que por lo general es una base.

Quando se hacen reaccionar ciertas diamidas con ácidos dicarboxílicos, se lleva a cabo la polimerización por pasos y se producen fibras formadas por macromoléculas que contienen combinaciones de átomos similares a los enlaces peptídicos en proteína de la seda. Estas fibras sintéticas, una vez estiradas, constituyen lo que ahora conocemos como *nylon* (Asimov, 1989). El nylon es una fibra muy utilizada en la actualidad que industrialmente se obtiene de la reacción del ácido adipico (o sebáico) con hexametilendiamina, produciéndose adipato de hexametilendiamino, conocido como "sal de nylon". Posteriormente el polímero es sometido a un proceso de estiramiento, que da como resultado el nylon 6,6, llamado así porque cada una de las materias primas contiene seis átomos de carbono. Anualmente se producen millones de toneladas de nylon en el mundo, que se usan principalmente en la manufactura de alfombras, vestidos y cuerdas de neumáticos (Austin, 1989). Otro nylon de gran importancia tecnológica es el nylon 6, producido a partir de un solo monómero llamado caprolactama, que se autopolimeriza. Dicho nylon es el que se produce a mayor escala actualmente en México.



El nylon 6,10 es pariente de los anteriores y tiene propiedades muy semejantes. Su nombre se debe a que en vez de utilizar dos monómeros con seis carbonos cada uno, se utiliza uno de seis y otro de diez. La síntesis de este nylon es sencilla y, aun cuando se requiere de un especial cuidado y control en la preparación de los reactivos, el proceso es muy formativo y el resultado le brinda a los estudiantes la oportunidad, tal vez única, de observar una

PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR

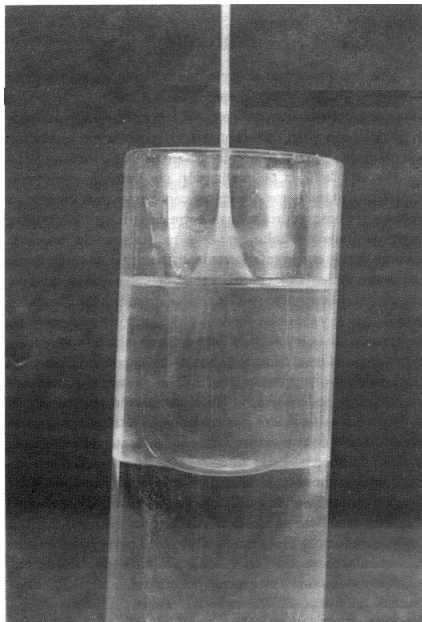


Figura 1. Experimento para la obtención del nylon 6,10. En la parte inferior se encuentra la disolución acuosa de hexametildiamina y en la superior la disolución de cloruro de sebacilo en hexano.

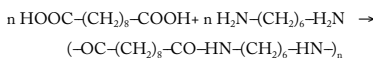
reacción que se lleva a cabo en la interfase formada por dos líquidos.

El monómero de diez carbonos que se requiere es el cloruro de sebacilo, una sal que no resulta fácil de conseguir en México. Sin embargo, puede sintetizarse mezclando 2 g de ácido sebáico con 3 mL de cloruro de tionilo. La mezcla resultante se pone en baño María a una temperatura entre 50 y 60°C. Al llegar a dicha temperatura se agregan 10 gotas de dimetilformamida, que sirve como catalizador, y se mantiene la mezcla a temperatura constante, durante 25 minutos, hasta obtener el producto. Es importante que la reacción se lleve a cabo en una campana y con todos los cuidados necesarios, ya que se desprenden vapores de ácido clorhídrico (Romero, 1992).

Una vez obtenido el cloruro y teniendo a la mano hexame-

tilendiamina, que es el otro monómero que se requiere, se procede a la síntesis del polímero. Se prepara una fase acuosa disolviendo 1.5 g de hexametildiamina y 0.5 g de hidróxido de sodio (catalizador) en 50 mL de agua. Y una fase orgánica con 2 mL del cloruro de sebacilo disueltos en 50 mL de hexano o de tetracloruro de carbono, la elección depende del presupuesto disponible.

La reacción de polimerización empieza al colocar en un vaso de precipitados, o cualquier otro recipiente de vidrio, cantidades equivalentes de ambas fases. Es importante agregar primero la disolución de mayor densidad, para evitar la formación de una masa de polímero sin forma alguna. Si la fase orgánica se preparó con tetracloruro de carbono, es ésta la que debe ir primero; en caso contrario, la acuosa toma el primer lugar y es recomendable hacer resbalar la segunda disolución por las paredes del recipiente, para evitar que el producto se haga bolas. En el momento en que ambas fases entran en contacto, se observa que en la interfase se forma una película de color blanco, que al tomarla por el centro con unas pinzas y jalarla lentamente hacia afuera del recipiente se va recogiendo formando un hilo, precisamente el hilo de nylon (Figura 1).



Al retirar la primera capa de polímero formado la reacción continúa, ya que la interfase queda libre y las disoluciones entran nuevamente en contacto. El espesor del hilo puede controlarse con la velocidad de extracción, y también se tiene la posibilidad de colorear el producto, seleccionando un pigmento adecuado. En el momento en que alguna de las dos fases se agota, la reacción termina (Shakashi, 1985).

La invitación para observar una reacción en interfase, para producir una fibra sintética que revolucionó el vestir de la humanidad y para tener la sensación, casi mágica, de extraer un sólido de entre dos líquidos, está abierta para todos nuestros lectores desde este momento, ¡inténtalo!

La riqueza del mundo de los polímeros empieza cuando, una vez sintetizados, intentamos cambiar sus propiedades físicas. Las técnicas empleadas son muchas y una de ellas consiste en agregar al polímero, generalmente disuelto, alguna sustancia que haga que las cadenas poliméricas se entrecrucen y se obtenga un polímero más estructurado y, por lo tanto, un producto con mayor viscosidad y resistencia. El ejemplo más famoso de este proceso es la *vulcanización*, en el cual las moléculas de azufre actúan como la sustancia que se encarga de entrecruzar las moléculas del caucho, dándole más resistencia y flexibilidad.

Para observar estos cambios drásticos en las propiedades de un polímero en el laboratorio, lo único que se necesita es agregar dos o tres mililitros de una disolución de 40 g/L de tetraborato de sodio a 20 mL de una disolución de 40 g/L de alcohol polivinílico,

PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR

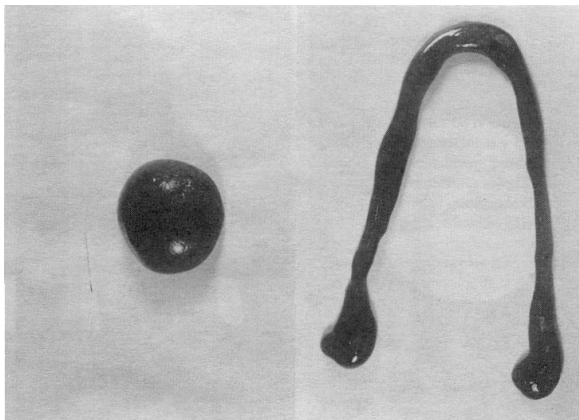


Figura 2. Polímero resultante de agregar tetraborato de sodio al alcohol polivinílico. Como se aprecia, podemos moldearlo de diferentes formas.

agitando constantemente. El producto es una goma viscosa que podemos moldear a nuestro antojo y hasta colorear con pinturas vegetales (Figura 2). Si no se dispone de alcohol polivinílico puro se puede preparar una disolución equivalente utilizando cualquier pegamento blanco, que contiene también alcohol polivinílico. El polímero que se obtiene con este cambio presenta menor elasticidad que el anterior (Figura 3), ya que el pegamento es una mezcla de diversas sustancias (Sarquis, 1993).

Al salir del laboratorio con un polímero entre las manos, surge de inmediato la pregunta: ¿para qué sirve? Y en este momento se abre todo un campo de investigación que tiene que ver con la *caracterización* de estos productos. Para esto es necesario conocer no sólo el peso molecular del polímero, sino también cuáles son sus propiedades mecánicas, químicas y térmicas. Las técnicas analíticas que se utilizan son complicadas, en virtud de que los polímeros, a diferencia de las sustancias comunes, constan de un conjunto de cadenas que no todas tienen el mismo número de enlaces, ya que durante el proceso de formación las cadenas empiezan a reaccionar y al terminar de hacerlo habrá moléculas con diferentes longitudes. Esto hace que sea difícil hablar de algunas propiedades del polímero en forma única, ya que en realidad es una mezcla de polímeros. Por lo tanto, tendremos una distribución de pesos moleculares, en lugar de un único valor. Sin embargo sí es posible establecer diferentes criterios para estimar el peso molecular promedio, cada uno de los cuales es importante

para caracterizar su pureza y algunas propiedades importantes.

Existen una gran variedad de métodos para determinar pesos moleculares promedio. El equipo necesario es, en su mayoría, costoso y sofisticado, lo que nos limita para realizar algunos de estos experimentos en un laboratorio escolar. Sin embargo y por fortuna, esta limitante no se tiene en la experimentación con computadora, y la importancia tecnológica que este campo tiene nos obliga a intentarlo.

...Y SIMULAR

Muchas de las técnicas de caracterización de los polímeros, requieren que éste se encuentre en disolución, condición que ha generado la necesidad de estudiar el comportamiento de estas moléculas en distintos disolventes. Las variables a considerar son muchas: características del disolvente y del polímero, interacciones polímero-disolvente, interacciones entre las distintas cadenas en disolución, etcétera. Si tomáramos todas ellas en cuenta, el resultado sería un modelo muy complicado. Sin embargo, se pueden considerar casos especiales que nos permiten avanzar en esta tarea.

Si pensamos que el comportamiento del polímero en disolución semeja al de un *spaghetti* en agua caliente, el problema se simplifica considerablemente, ya que podemos suponer que la cadena de polímero puede moverse libremente en la disolución, adoptando en su movimiento un gran número de configuraciones

PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR

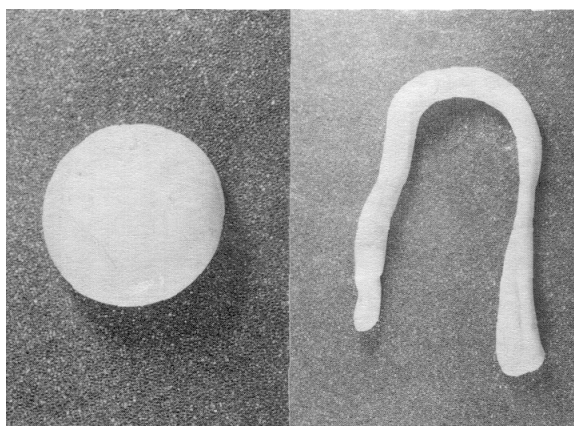


Figura 3. Polímero resultante de la reacción de una mezcla de Resistol 850 con el tetraborato de sodio.

diferentes, que se darán de forma azarosa. En estos casos, se dice que el polímero se encuentra en un "buen disolvente" y las interacciones polímero-disolvente pierden importancia.

Por otro lado, el considerar disoluciones muy diluidas, en las que cada molécula permanece en la disolución sin sentir la presencia de moléculas vecinas, nos permite realizar el estudio de cada una por separado sin tomar en cuenta las interacciones entre ellas. De esta manera, el problema de cómo está distribuido un polímero en un disolvente se simplifica lo suficiente como para poder empezar con la simulación del mismo.

Utilizaremos un caso particular del método de Monte Carlo, conocido como método de reptado (Gould, 1988), que consiste en lo siguiente:

Partiendo de un número de monómeros conocido, se calcula una configuración inicial al azar a partir de números aleatorios y con ella se generan las nuevas configuraciones de la siguiente manera: se elimina el primer enlace en la cola de una molécula y se intenta añadir aleatoriamente un nuevo enlace en la cabeza de la misma. Para poder realizar lo anterior, el programa exige tres condiciones con respecto a la formación del nuevo enlace: no puede colocarse en espacios ya ocupados por la cadena, ya que de otra manera tendríamos dos partes de la misma cadena ocupando un mismo lugar en el espacio. Tampoco se pueden traspasar los límites físicos del recipiente, y debe formarse un ángulo de 90° con el enlace de la cabeza. Si se viola alguna de estas restricciones, se regresa a la cadena original y se cambia la cola por la cabeza,

volviendo a intentar la formación de un enlace en la nueva cabeza.

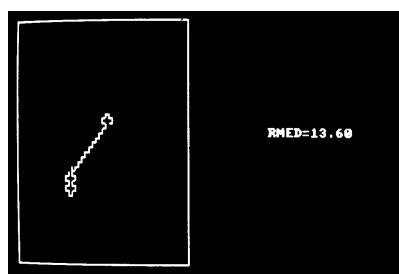
Si no se violan restricciones se dice que tenemos una "configuración exitosa" y se calcula la distancia de extremo a extremo de la molécula (RN) para cada caso. Posteriormente, el programa calcula el promedio de todas las longitudes de la molécula, conocido como la longitud media cuadrática de la molécula $\langle RN^2 \rangle^{1/2}$. En virtud de que el proceso es aleatorio, las distribuciones más probables se repetirán con mayor frecuencia, y la longitud promedio tenderá a este valor. Este parámetro es importante, porque se puede relacionar con el número de monómeros de la cadena mediante la siguiente relación:

$$\langle RN^2 \rangle^{1/2} = N^v \quad (1)$$

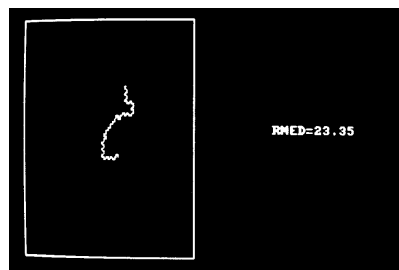
donde N es el número de monómeros y v es un parámetro que depende de las interacciones existentes en el sistema, así como de las configuraciones que el polímero adopta en la disolución. Este parámetro lo podemos determinar a partir de la simulación (Bernasconi, 1984).

Debido a que la longitud que estamos calculando es una longitud media, N debe ser el número de monómeros promedio, el cual multiplicado por el peso molecular del monómero, nos da el peso molecular promedio del polímero. De esta manera, el programa permite obtener en forma aproximada una propiedad macroscópica importante, a partir de propiedades microscópicas, particularidad que hace al método atractivo y útil.

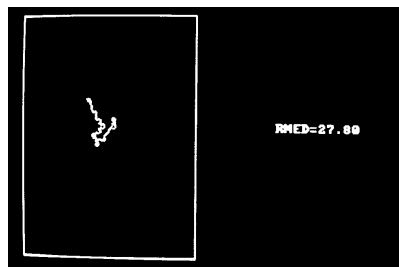
PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR



(a)



(b)



(c)

Figura 4. Resultados de la simulación para diferente número de monómeros.

Si llega a suceder que la cadena de polímero rebasa los límites físicos del recipiente, el programa borra la pantalla y vuelve a calcular una configuración inicial, sin perder, por esto, los valores que ya se habían registrado de cálculos anteriores.

Por limitaciones gráficas, este programa corre adecuadamente para valores de N entre 50 y 150 y está diseñado para calcular 500 configuraciones y obtener el promedio entre ellas (Línea 60). Este número puede cambiarse para trabajar en computadoras de distintas velocidades.

Otra posibilidad que brinda el programa, es la de obtener el exponente v de la ecuación (1), para lo que se propone lo siguiente:

Corre el programa para diferentes valores de N y obtén para cada uno de ellos un valor de la distancia media cuadrática de la molécula (Figura 4). Una vez teniendo esta lista, se puede obtener v a partir de la relación:

$$\ln \langle RN^2 \rangle^{1/2} = v \ln(N) \quad (2)$$

que es la ecuación de una línea recta con pendiente v y ordenada al origen cero. Por lo tanto, al realizar una regresión lineal, podemos obtener el valor del exponente, así como la efectividad del método para ajustarse a un modelo teórico como el de la fórmula anterior.

De manera similar a la explorada aquí, es como los científicos del mundo avanzan sobre algunos aspectos de los muchos que comprende el enorme mundo de los polímeros, y nos parece muy importante que las generaciones que viven la *época de los plásticos* se adentren a este controvertido y fascinante campo de la ciencia.

EXTRAS

Nuevamente agradecemos la colaboración de Raúl Genis en la toma de fotografías y el apoyo brindado por la DGAPA, UNAM, a través del proyecto No. 104492. ■

PROGRAMA PARA CALCULAR LA DISTANCIA MEDIA CUADRÁTICA DE UNA MOLÉCULA DE POLÍMERO EN UN DISOLVENTE

```
KEY(14) ON: ON KEY(14) GOSUB 80
SCREEN 1
CLS
INPUT "dame el numero de monómeros:"; p
n = p + 1
DIM x(100 * n): DIM y(100 * n): DIM xn(100 * n):
DIM yn(100 * n)
5 CLS
WINDOW (0, 0)-(1.5 * (n + 1), (n + 1))
LINE (0, 0)-(0, n + 1), 3
LINE (0, 0)-(n + 1, 0), 3
LINE (0, n + 1)-(n + 1, n + 1), 3
LINE (n + 1, 0)-(n + 1, n + 1), 3
```

PARA SABER, EXPERIMENTAR Y SIMULAR

```

      x(2) = x(1): y(2) = y(1) + 1
      LINE (x(1), y(1))-(x(2), y(2))
      FOR i = 3 TO n
10    IF x(i - 1) = x(i - 2) THEN 30
      IF y(i - 1) = y(i - 2) THEN 40
20    FOR j = 1 TO i - 1
      IF x(i) = x(j) AND y(i) = y(j) THEN 50
      IF ABS(x(i)) > n OR ABS(y(i)) > n THEN 5
      NEXT j
      LINE (x(i - 1), y(i - 1))-(x(i), y(i))
      NEXT i
      GOTO 60
30    RANDOMIZE TIMER
      z = RND
      IF z <=.5 THEN x(i) = x(i - 1) + 1
      IF z > .5 THEN x(i) = x(i - 1) - 1
      y(i) = y(i - 1)
      GOTO 20
40    RANDOMIZE TIMER
      z = RND
      IF z <=.5 THEN y(i) = y(i - 1) + 1
      IF z > .5 THEN y(i) = y(i - 1) - 1
      x(i) = x(i - 1)
      GOTO 20
50    FOR m = 1 TO i
      xn(m) = x(m)
      yn(m) = y(m)
      NEXT m
      LINE (x(1), y(1))-(x(2), y(2)), 0
      FOR k = 1 TO i
      x(k) = xn(i - k + 1)
      y(k) = yn(i - k + 1)
      NEXT k
      GOTO 10
60    FOR i = n + 1 TO 500
65    IF x(i - 1) = x(i - 2) THEN 90
      IF y(i - 1) = y(i - 2) THEN 100
70    FOR j = i - n TO i - 1
      IF x(i) = x(j) AND y(i) = y(j) THEN GOTO 110
      IF Abs(x(i)) > n OR Abs(y(i)) > n THEN GOTO 5
      NEXT j
      LINE (x(i - n), y(i - n))-(x(i + 1 - n),
      y(i + 1 - n)), 0
      LINE (x(i - 1), y(i - 1))-(x(i), y(i))
      q = q + 1
      r = SQR((x(i) - x(i - n)) ^ 2 + (y(i) -
      y(i - n)) ^ 2)
      rmed1 = rmed1 + r
      rmed = rmed1 / q
      LOCATE 12, 30: PRINT "RMED="
      LOCATE 12, 35: PRINT USING "##.##"; rmed
      NEXT i
80    END
90    RANDOMIZE TIMER
      z = RND
      IF z <=.5 THEN x(i) = x(i - 1) + 1
      IF z > .5 THEN x(i) = x(i - 1) - 1
      y(i) = y(i - 1)
      GOTO 70
100   RANDOMIZE TIMER
      z = RND
      IF z <=.5 THEN y(i) = y(i - 1) + 1
      IF z > .5 THEN y(i) = y(i - 1) - 1
      x(i) = x(i - 1)
      GOTO 70
110   FOR m = i - n TO i - 1
      xn(m) = x(m)
      yn(m) = y(m)
      NEXT m
      FOR k = i - n TO i - 1
      x(k) = xn(2 * i - n - k - 1)
      y(k) = yn(2 * i - n - k - 1)
      NEXT k
      GOTO 65

```

BIBLIOGRAFÍA

- Asimov, I., *Breve Historia de la Química*, Alianza, México, 1989.
- Austin, George, *Manual de los procesos químicos en la industria*, Vol. III, México, Mc Graw Hill, 1989.
- Billmeyer, F. W., *Textbook of Polymer Chemistry*, New York, John Wiley & Sons, 1971.
- Bernasconi J. and Pietronero L., "True" Self Avoiding Walk in One Dimension. *Physical Review B*, **29**, 5196, (1984).
- Gould, H. and Tobochnik, J., *An Introduction to Computer Simulation Methods. Application to Physical Systems*. Part I, USA, Addison-Wesley, 1988.
- Harris, W. Franck, *Introduction to Polymer Chemistry. J. Chem. Ed.*, **58**, 837 (1981).
- Lipscomb Robert, revision, *Polymer Chemistry*. Washington National Science Teachers Association, 1989.
- Romero González Ma. Elena, *Demostración de la formación de una película interfacial para la obtención del polímero Nylon 6-10*. Facultad de Química, UNAM, México, 1992.
- Sarquis, Mickey y Jerry, *Descubre y disfruta de la química*, Facultad de Química, UNAM, México, 1993.
- Morrison y Boyd, *Química Orgánica*, México, Addison Wesley Iberoamericana, 1990.
- Shakashiri, B., *Chemical Demonstrations. A Handbook for Teachers of Chemistry*. Vol. 3, USA. University of Wisconsin Press, 1985.

Lectura 12: Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares

Ficha de referencia

Caldera V. M. y Herrera G. A. (2019), “Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares”, *Educación química*. 2 (30), p. 2-13.

Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/332318669_Polimeros_adhesivos_y_formacion_de_unioness_a_traves_de_reacciones_de_polimerizacion_y_fuerzas_intermoleculares

Sinopsis

El artículo explica desde un punto de vista químico cómo sucede el fenómeno de adhesión en diferentes materiales que usamos comúnmente, centrándose en la formación de enlaces covalentes en la reacción de polimerización y las fuerzas intermoleculares.

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizaje. A7. (C, H). Comprende que las fuerzas inter e intramoleculares modifican las propiedades de un polímero, al observar las propiedades de éstos en un experimento. (N3).

Justificación. El contenido del artículo permite cubrir el aprendizaje ya que favorece que el alumno comprenda la importancia de las fuerzas inter e intramoleculares que hay en los adhesivos comúnmente usados, así como las reacciones más relevantes para sintetizarlos.

Descripción de la actividad

1. Posterior a la lectura del artículo, los alumnos en parejas contestarán el siguiente cuestionario.
 - a) Investiga ¿Qué son las fuerzas intermoleculares e intramoleculares?

- b) Investiga y define qué tipos de fuerzas intermoleculares existen.
- c) De acuerdo con la lectura ¿En qué consiste el fenómeno de adhesión? ¿Qué es un polímero adhesivo?
- d) ¿Cuáles son las diferencias (a nivel estructural, reacciones o interacciones) entre los polímeros reactivos y no reactivos?
- e) ¿Qué son los grupos funcionales? ¿Qué importancia tienen en los polímeros adhesivos?
- f) Enlista qué reacciones y con qué grupos funcionales se lleva a cabo el entrecruzamiento en los polímeros adhesivos.
- g) Con base en la lectura completa la siguiente tabla:

Tipo de reacción de entrecruzamiento	Característica(s) estructural(es) de las moléculas reaccionantes o qué condiciones se requieren para que se lleve a cabo el entrecruzamiento
1.	
2.	
3.	
4.	

2. Cada equipo tendrá que comparar sus respuestas con otro. El docente y los alumnos en plenaria con apoyo del texto realizan el llenado de la siguiente tabla:

Fuerza intermolecular	Ejemplo polímero adhesivo	Grupos funcionales involucrados

3. Finalmente en plenaria, docente y alumnos responderán a la pregunta ¿Cómo modifican las fuerzas inter e intra moleculares las características de un polímero de adhesión?

Nota para el profesor.

Se sugiere explicar el significado de las flechas en los mecanismos de reacción, así como las condiciones para que suceda. En caso de requerir más información se sugiere que los alumnos realice un glosario.

Educación
Química

"Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares",
Martín Caldera Villalobos y Ana María Herrera González
Volumen 30 | Número 2 | Páginas 2-13 | Abril 2019
DOI: [10.22201/eq.18708404e.2019.2.68197](https://doi.org/10.22201/eq.18708404e.2019.2.68197)

POLÍMEROS ADHESIVOS Y FORMACIÓN DE UNIONES A TRAVÉS DE REACCIONES DE POLIMERIZACIÓN Y FUERZAS INTERMOLECULARES

Resumen

Los materiales adhesivos se encuentran presentes en muchos aspectos de nuestra vida cotidiana. Actualmente existe un mercado muy amplio de estos productos químicos que incluye una variedad de productos que difieren en su composición y utilidad, siendo la mayoría de ellos polímeros. Los mecanismos mediante los cuales ocurre el fenómeno de adhesión involucran fenómenos tribológicos, reológicos y químicos. Particularmente, los enlaces químicos ejercen un papel preponderante en el desempeño de estos materiales. En este manuscrito se pretende dar a conocer el aspecto químico de los materiales adhesivos mostrando diferentes ejemplos de materiales poliméricos empleados como adhesivos. Se analiza como la formación de enlaces covalentes en la reacción de polimerización y el establecimiento de fuerzas intermoleculares contribuyen a producir el fenómeno de adhesión.

Palabras clave: Polímeros; Relación estructura-propiedad; Enlace covalente; Fuerzas intermoleculares; Adhesión; Pegamentos; Resinas.

ADHESIVE POLYMERS AND THE FORMATION OF JOINTS THROUGH POLYMERIZATION REACTIONS AND INTERMOLECULAR FORCES

Abstract

Adhesive materials are present in many aspects of our daily life. Currently there is a very broad market for these chemicals that includes a wide range of products that differ in their composition and usefulness, the most of them are polymers. The mechanisms through which the phenomenon of adhesion occurs involve tribological, rheological and chemical phenomena. Particularly, chemical bonds exert a preponderant role in the performance of these materials. In this work, we show different examples of polymeric materials employed as adhesives, analyzing how the formation of covalent bonds and establishment of intermolecular forces contribute to the adhesion phenomena. In this work the effect of the primary and secondary chemical bonds in different adhesives is summarized and analyzed in order to explain the mechanism that produces adhesion.

Keywords: Polymers, Structure-property relationship; Covalent Bond; Intermolecular forces; Adhesion; Glues; Resins

Autores: Martín Caldera Villalobos^a y Ana María Herrera González^a

^a Laboratorio de Polímeros, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. *Autor para correspondencia: caldera_martin@hotmail.com

Educación
química

"Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares",
Martín Caldera Villalobos y Ana María Herrera González
Volumen 30 | Número 2 | Páginas 2-13 | Abril 2019
DOI: [10.22201/fq.18708404e.2019.2.68197](https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.68197)

POLÍMEROS ADHESIVOS Y FORMACIÓN DE UNIONES A TRAVÉS DE REACCIONES DE POLIMERIZACIÓN Y FUERZAS INTERMOLECULARES

Introducción

Los adhesivos son materiales constituidos por macromoléculas ampliamente usados en la vida cotidiana. Estos se colocan entre dos superficies para mantenerlas unidas de manera permanente. En la actualidad, los adhesivos son indispensables para la manufactura de una gran variedad de productos, como el aglomerado de madera, libros, juguetes, calzado, electrodomésticos e incluso maquinaria. También los adhesivos son ampliamente usados en el ámbito doméstico en tareas como la reparación de objetos rotos y la unión de tuberías.

El manejo de los adhesivos suele ser tan simple que los usuarios pueden emplearlos sin tener conocimiento de su composición química ni del mecanismo por el cual se produce la unión. Sin embargo, existe la noción de que cada adhesivo es diferente, porque identificamos un adhesivo útil para cada tarea particular. Estas diferencias residen en la composición química del adhesivo, en el tipo de enlaces químicos formados entre las moléculas del adhesivo o las fuerzas intermoleculares establecidas. En este trabajo se busca dar conocer como la formación de enlaces covalentes y el establecimiento de fuerzas intermoleculares contribuye a la formación de uniones adhesivas.

De forma general, el fenómeno de adhesión consiste en un conjunto de fuerzas que mantienen unidas a dos superficies distintas durante la aplicación de una fuerza mecánica externa. De acuerdo con Gierenz y Karmann, la adhesión es el estado en que dos superficies se mantienen juntas a través de enlaces interfaciales (Gierenz & Karmann, 2001). De forma más específica, la adhesión entre dos superficies es el resultado del enclavamiento mecánico entre dos superficies con topografía irregular, de la atracción electrostática entre grupos polares presentes en la superficie y el adhesivo y de la formación de enlaces químicos a través de la interface superficie-adhesivo (Abbey & Zalucha, 2017).

Los adhesivos típicamente se componen de polímeros o macromoléculas, los cuales pueden aplicarse directamente sobre los materiales a unir (cuando están en estado líquido) o bien formarse *in situ* mediante la reacción de polimerización. Esto implica que algunos adhesivos reaccionan químicamente y, la unión formada es el resultado de la creación de nuevos enlaces. En contraparte, existen adhesivos que no reaccionan químicamente y, la unión es formada únicamente a través de fuerzas intermoleculares. El tipo de enlaces formados en el adhesivo ya sean primarios o secundarios, constituye un criterio de clasificación para estos materiales que será analizado a lo largo de este manuscrito. Por lo tanto, los adhesivos se pueden clasificar como adhesivos reactivos y adhesivos no reactivos.

Adhesivos reactivos

Los adhesivos reactivos se caracterizan por la formación de enlaces permanentes entre las superficies o sustratos que proveen resistencia al ataque químico, humedad y al calor (Prane, 1979).



"Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares",
Martín Caldera Villalobos y Ana María Herrera González
Volumen 30 | Número 2 | Páginas 2-13 | Abril 2019
DOI: [10.22201/fq.18708404e.2019.2.68197](https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.2.68197)

La formación de enlaces covalentes es un fenómeno que se observa en especies capaces de reaccionar químicamente entre sí. En los adhesivos la formación de nuevos enlaces covalentes da como resultado la formación de macromoléculas que unen a dos superficies. Las macromoléculas son moléculas de peso molecular relativamente alto, cuya estructura está formada por la repetición de unidades constituidas por moléculas de bajo peso molecular. A estas macromoléculas también se les denomina polímeros. La reacción de polimerización es el proceso de convertir una mezcla de monómeros o moléculas de bajo peso molecular en un polímero. En los adhesivos es común observar un cambio de fase pasando del estado líquido al estado sólido una vez que ocurre la reacción de polimerización. Las reacciones de polimerización producidas en los adhesivos dan como resultado la formación de nuevos enlaces C-C, C-O, C-N y Si-O según la mezcla de monómeros contenida. Las reacciones de polimerización observadas en los adhesivos ocurren mediante los mecanismos típicos de polimerización en cadena y polimerización por pasos o etapas (Uribe Velasco, 2010). En la Figura 1 se muestran diferentes tipos de adhesivos clasificados de acuerdo al tipo de enlace covalente formado para producir la adhesión.

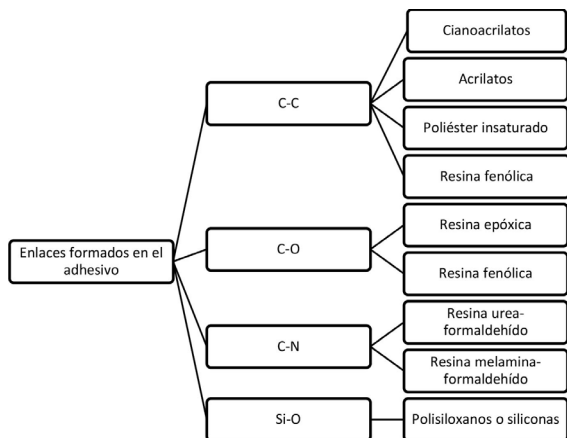
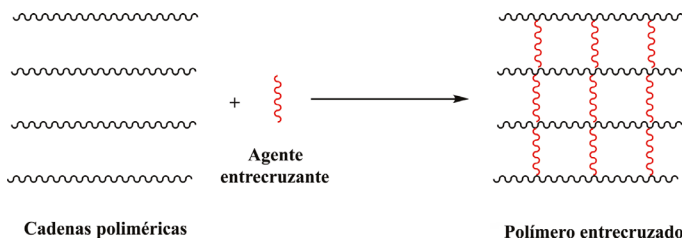


Figura 1. Enlaces covalentes formados en diferentes adhesivos

Además de la reacción de polimerización, la reacción de entrecruzamiento también es aplicada en los polímeros adhesivos. Esta reacción involucra a varios centros reactivos o grupos funcionales presentes en los monómeros dando como resultado la formación de una pequeña región en la macromolécula de la cual emanan al menos cuatro cadenas poliméricas (Esquema 1). Esta reacción tiene como función incrementar el peso molecular de los polímeros y disminuir la movilidad de las cadenas poliméricas. Como resultado del entrecruzamiento se incrementa la rigidez en la unión.



Esquema 1. Reacción de entrecruzamiento.

A continuación se describirán de manera general las reacciones de polimerización por las cuales se forman macromoléculas responsables del fenómeno de adhesión.

Los adhesivos que polimerizan formando enlaces C-C incluyen a los cianoacrilatos, acrilatos, poliésteres insaturados y resinas fenólicas.

Los adhesivos a base de cianoacrilatos son muy versátiles y pueden unir materiales tan diversos como la madera, el papel, plásticos, metales y porcelana. Además, pueden ser aplicados como selladores y también tienen utilidad como adhesivos quirúrgicos. Por lo anterior se les denomina comúnmente superpegamentos. La fórmula general de los 2-cianoacrilatos de alquilo se muestra en la Figura 2.

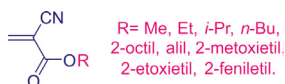
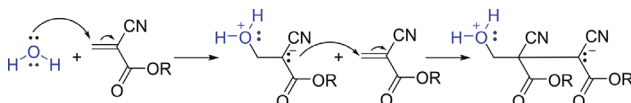


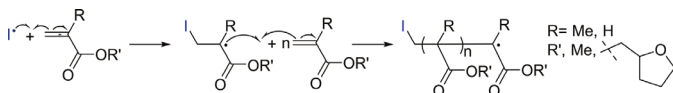
Figura 2. Estructura general de los monómeros cianoacrilatos.

Estos monómeros polimerizan de forma instantánea al entrar en contacto con la humedad del medio ambiente a través de una reacción de polimerización aniónica como se muestra en el Esquema 2. Los grupos ciano y carbonilo unidos al carbono α del enlace C=C confieren un carácter fuertemente electrofílico al carbono β y por lo tanto este es muy susceptible al ataque nucleofílico. El agua es un nucleófilo capaz de atacar al carbono β para formar un carbanión estable que inicia la polimerización aniónica. La unión formada por estos adhesivos es muy resistente debido a los altos pesos moleculares obtenidos (Duffy, Zetterlund, & Aldabbagh, 2018).



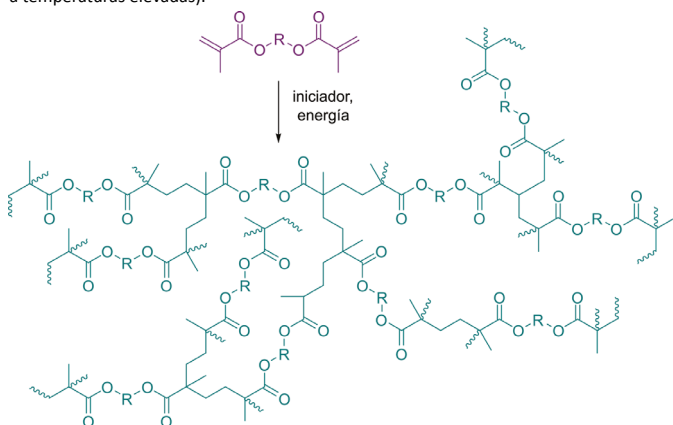
Esquema 2. Iniciación y propagación de la reacción de polimerización aniónica de un monómero 2-cianoacrilato en presencia de agua.

Los ésteres de los ácidos acrílico y metacrílico también pueden ser usados como materiales adhesivos y comúnmente se les conoce como adhesivos acrílicos. Durante el proceso de curado estos adhesivos sufren una reacción de polimerización en cadena vía radicales libres (véase el Esquema 3). En la reacción de polimerización los monómeros acrílicos reaccionan entre sí formando nuevos enlaces C-C mediante la ruptura homolítica de los enlaces C-C de los monómeros. La formación de nuevos enlaces C-C permite crear la unión de dos superficies mediante el adhesivo (Abbey & Zalucha, 2017).



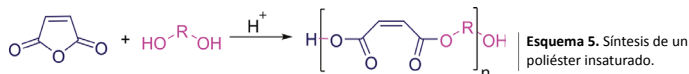
Esquema 3. Iniciación y propagación de la reacción de polimerización vía radicales libres de un monómero acrílico.

Si el monómero empleado contiene dos o más ésteres acrílicos o metacrílicos en su estructura la polimerización dará como producto una red entrecruzada (Esquema 4). La formación de la red entrecruzada mejora las propiedades mecánicas (resistencia a la deformación cuando se aplica una fuerza externa), la estabilidad química (resistencia al ataque por otra sustancia química) y térmica de la unión (resistencia a la descomposición a temperaturas elevadas).



Esquema 4. Red polimérica obtenida de la polimerización de un monómero dimetacrílico.

Las reacciones de polimerización en cadena vía radicales libres también son observadas en las resinas de poliéster insaturado. Estos adhesivos consisten en un poliéster que contiene grupos C=C en la cadena polimérica y un monómero. El poliéster se denomina insaturado porque contiene enlaces C=C dentro de la cadena principal y comúnmente se obtiene mediante la polimerización del anhídrido maleico con un glicol como se muestra en el Esquema 5. (Issam, Hena, & Nurul Khizrien, 2012).

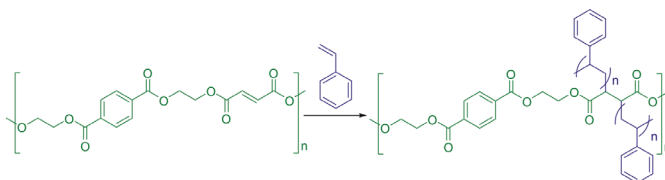


Esquema 5. Síntesis de un poliéster insaturado.

Los enlaces C=C del poliéster son capaces de participar en la reacción de polimerización vía radicales libres de monómeros altamente reactivos como el estireno, el acetato de vinilo o el metacrilato de metilo (Elgegren Lituma & Nakamatsu Kuniyoshi, 2009). Una vez que se inicia la polimerización, los enlaces C=C del polímero reaccionan con los enlaces

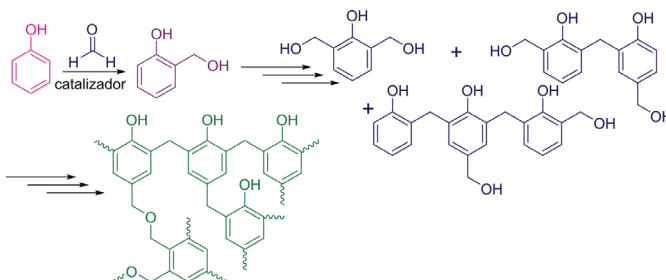


C=C de los monómeros para formar una macromolécula altamente entrecruzado (Esquema 6). Esto permite formar una unión con gran resistencia mecánica y estabilidad química elevada. De este modo, la formación de nuevos enlaces C-C entre las moléculas del monómero y las cadenas poliméricas del poliéster constituye el principal mecanismo de adhesión de estos materiales.



Esquema 6. Reacción de un poliéster insaturado con estireno.

Las resinas fenólicas estas están constituidas por una mezcla de productos formados por la condensación del fenol y el formaldehído. Cuando la reacción se realiza en presencia de un exceso de formaldehído los productos de condensación son fenoles sustituidos con dos o más grupos $-CH_2OH$. Estos grupos se denominan metiloles y pueden reaccionar mediante deshidratación con un carbono no sustituido de otro anillo aromático formando un enlace C-C. La deshidratación entre dos metiloles da como resultado la formación de un enlace C-O en el adhesivo (véase el Esquema 7). La formación de ambos tipos de enlaces (C-C y C-O) es responsable de las propiedades adhesivas de estas resinas (Grenier Loustalot, Larroque, Grenier, Leca, & Bedel, 1994).

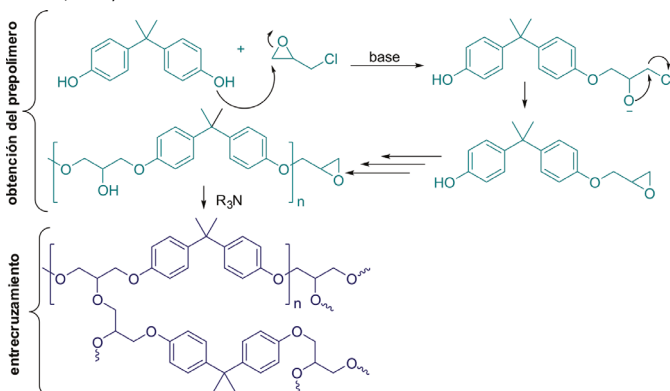


Esquema 7. Preparación y entrecruzamiento de una resina fenólica.

La formación de enlaces C-O también se observa en las resinas epóxicas. Las resinas epóxicas son adhesivos ampliamente difundidos en el mercado. Están constituidos por poliésteres que contienen grupos terminales epóxido (González, Barcia, & Soares, 2006). Estos son comercializados como un producto de dos componentes, uno de ellos llamado resina y el otro endurecedor. La resina, típicamente consiste en un polímero lineal obtenido de la polimerización del bisfenol A y la epíclorhidrina. La reacción de polimerización es realizada por apertura de epóxidos en presencia de un exceso de epíclorhidrina, a fin de obtener un polímero con grupos epóxido terminales y grupos pendientes hidroxilo. El endurecedor, este un catalizador básico que acelera la reacción de los grupos epóxido terminales con los grupos $-OH$ pendientes de la cadena polimérica.

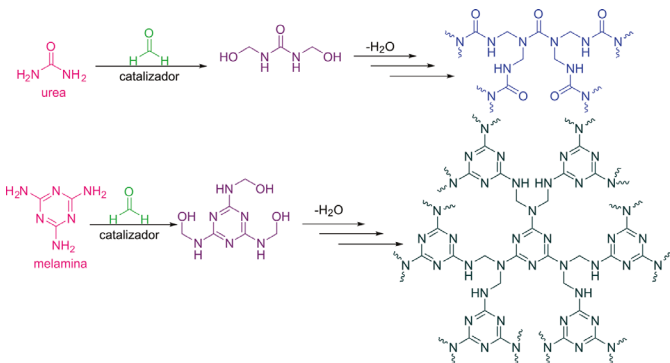


La reacción de entrecruzamiento de la resina epóxica se ilustra en el Esquema 8. Esta reacción química forma nuevos enlaces covalentes C-O en el material produciendo la adhesión entre las superficies donde fue aplicado. (González García, Sampaio, Neves, & Oliveira, 2008).



Esquema 8. Preparación curado de una resina epóxica.

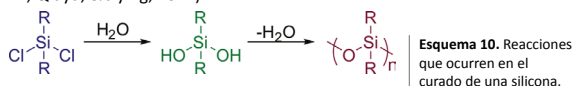
La urea y la melamina son compuestos que también pueden reaccionar con el formaldehído formando productos sustituidos con el grupo metilol de forma similar a como ocurre en las resinas fenólicas. Los adhesivos formulados a partir de la urea o la melamina con formaldehído se conocen como aminoresinas. En esto adhesivos la adhesión es el resultado de la formación de nuevos enlaces C-N mediante la reacción de deshidratación como se muestra en el Esquema 9. Considerando que cada átomo de nitrógeno de la urea y la melamina puede formar dos nuevos enlaces C-N el grado de entrecruzamiento que se obtiene es muy elevado (Conner, 1996).



Esquema 9. Síntesis de precursores de las resinas de urea y melamina y reacción de curado por deshidratación.



Finalmente, adhesivos de silicona están constituidos por polisiloxanos que son polímeros orgánico-inorgánicos cuyas cadenas poliméricas están formadas por Si y O. Estos son obtenidos a partir de clorosilanos en dos etapas. En la primera etapa, los clorosilanos son hidrolizados al reaccionar con la humedad ambiental formando silanoles. La segunda etapa consiste en la policondensación de los silanoles para formar el polisiloxano. El proceso de curado de estos adhesivos se muestra en el Esquema 10. Como resultado del proceso de curado, las moléculas de monómero se unen entre sí formando una gran cantidad de enlaces Si-O que forman cadenas poliméricas de alto peso molecular (Min, Qiuyu, & Jiying, 2011).



Adhesivos no reactivos

Los adhesivos donde no ocurre una reacción química están constituidos por polímeros termoplásticos (polímeros que reblandecen por efecto de la temperatura) que se encuentran en estado sólido, en solución o en emulsión. La capacidad de fluir sobre la superficie es importante para garantizar un contacto íntimo entre el sustrato y el adhesivo. La capacidad de flujo se logra mediante la fusión del polímero termoplástico o bien formando soluciones o emulsiones (Figura 3). La adhesión se produce una vez que el polímero solidifica o se evapora el disolvente. Dado que en este tipo de adhesivos no ocurre la formación de nuevos enlaces, el fenómeno de adhesión se debe al establecimiento de fuerzas intermoleculares entre las cadenas poliméricas del adhesivo.

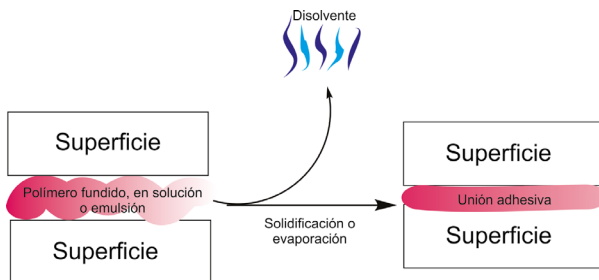


Figura 3. Formación de la unión adhesiva mediante en un adhesivo sin reacción química.

Las fuerzas intermoleculares son fuerzas de atracción entre las moléculas y estas tienen una gran influencia en las propiedades físicas de la materia condensada como los líquidos y los sólidos. Las fuerzas intermoleculares dan origen a las fuerzas de adhesión en los polímeros adhesivos que no producen reacciones químicas. Particularmente, las fuerzas de van der Waals (fuerzas dipolo-dipolo, dipolo-dipolo inducido y las fuerzas de dispersión) son responsables de las propiedades adhesivas de diferentes polímeros. En la Figura 4 se muestran diferentes ejemplos de polímeros adhesivos que no producen reacciones químicas mostrando las fuerzas intermoleculares que ocurren en ellos.

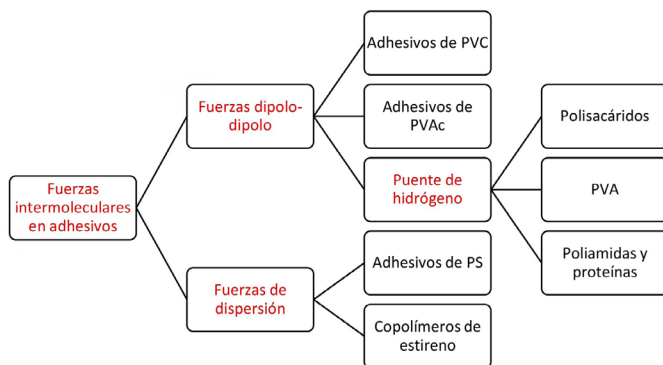


Figura 4. Fuerzas intermoleculares establecidas en diferentes materiales adhesivos.

Las fuerzas dipolo-dipolo consisten en atracciones electrostáticas entre grupos polares y son observadas en polímeros adhesivos como el poli(cloruro de vinilo) y poli(acetato de vinilo) (Figura 5). Los carbonos con cargas parciales positivas son atraídos electrostáticamente por los átomos con cargas parciales negativas. Estas atracciones pueden ocurrir en cualquier segmento de las cadenas poliméricas y el conjunto de todas las interacciones establecidas entre las cadenas produce el fenómeno de adhesión.

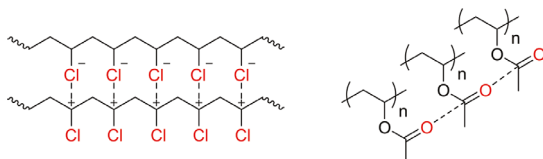


Figura 5. Interacciones dipolo-dipolo observadas en adhesivos a base de PVC y PVAc.

Los puentes de hidrógeno (un tipo especial de interacciones dipolo-dipolo) son observados en materiales adhesivos que contienen grupos -OH y NH en su estructura. Los puentes de hidrógeno son observados en adhesivos hechos a base de polisacáridos, el poli(alcohol vinílico) y las poliamidas (incluyendo proteínas las cuales son poliamidas naturales). En la Figura 6 se muestra como la formación de puentes de hidrógeno inter e intramoleculares en el almidón produce el efecto de adhesión.

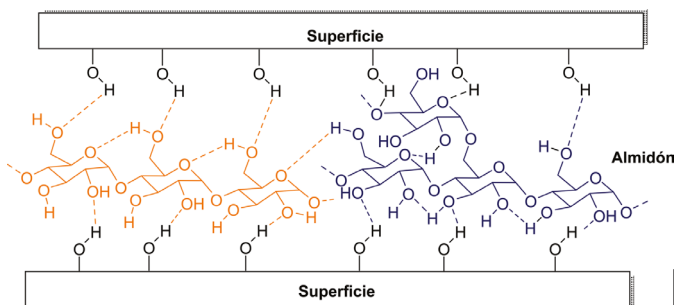


Figura 6. Unión adhesiva hecha con almidón.

La adhesión debida a puentes de hidrógeno también se observa en las poliamidas ya sean naturales o sintéticas. Las proteínas son cadenas poliméricas formadas por aminoácidos unidos mediante el enlace peptídico, el cual consiste en un grupo amida resultado de la reacción entre los grupo ácido carboxílico y amino presentes en los aminoácidos. Los grupos amida son capaces de formar puentes de hidrógeno para producir la adhesión. Además, los grupos ácido carboxílico, amina, e hidroxilo que se encuentran en las proteínas también pueden establecer puentes de hidrógeno que contribuyen a la adhesión. Por ejemplo, la proteína de soya también ha sido estudiada como material adhesivo. Este material resulta interesante por su origen proveniente de fuentes renovables y amplia biodisponibilidad. (Hernández-Castorena et al., 2015). El fenómeno de adhesión ocurre de forma similar en otras poliamidas naturales como la caseína y la gretina (referencias).

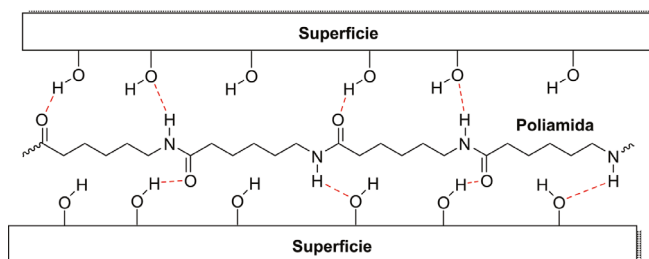


Figura 7. Unión adhesiva hecha con una poliamida.

Con respecto a las fuerzas de dispersión estas son fuerzas intermoleculares producidas en polímeros adhesivos que no contienen grupos polares, como el poliestireno (PS). Estas fuerzas son el resultado de la polarización temporal de los enlaces debido al movimiento de los electrones en los átomos y moléculas. Nótese que el poliestireno contiene enlaces covalentes no polares en su estructura y por lo tanto su capacidad adhesiva debe a fuerzas de dispersión. Un funcionamiento similar se observa en polímeros hechos a base de copolímeros de estireno como el poli(estireno-*b*-butadieno-*b*-estireno) (SBS) y poli(estireno-*b*-etileno-*b*-estireno) (SES) (Salazar-Cruz et al., 2015).



"Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares",
Martín Caldera Villalobos y Ana María Herrera González
Volumen 30 | Número 2 | Páginas 2-13 | Abril 2019
DOI: [10.22201/eq.18708404e.2019.2.68197](https://doi.org/10.22201/eq.18708404e.2019.2.68197)

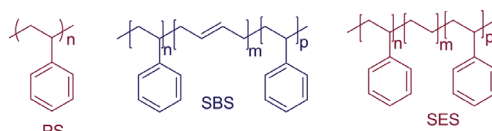


Figura 8. Estructuras de PS, SBS y SES.

Conclusiones

A través de los ejemplos descritos se muestra como la formación de enlaces covalentes y el establecimiento de fuerzas intermoleculares contribuyen a producir el fenómeno de adhesión. En este manuscrito se ha revisado el papel que juega la química de polímeros en el funcionamiento de adhesivos mostrando una parte del impacto de la química en nuestra vida cotidiana.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Referencias

- Abbey, K. J., & Zalucha, D. J. (2017). The chemistry of structural adhesives: epoxy, urethane, and acrylic adhesives. In *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry* (pp. 726–754). https://doi.org/10.1007/978-0-387-27843-8_14
- Conner, A. H. (1996). Urea-formaldehyde adhesive resins. *Polymeric Materials Encyclopedia*, 11, 8496–8501.
- Duffy, C., Zetterlund, P. B., & Aldabbagh, F. (2018). Radical polymerization of alkyl 2-cyanoacrylates. *Molecules*, 23(2), 465. <https://doi.org/10.3390/molecules23020465>
- Elgegren Lituma, M., & Nakamatsu Kuniyoshi, J. (2009). Poliésteres Insaturados a Partir de Desechos de PET. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 75(1), 26–32.
- Gierenz, G., & Karmann, W. (2001). Adhesives and adhesive tapes. Alemania: Wiley-VCH.
- González, V., Barcia, F. L., & Soares, B. G. (2006). Composite Materials Based on Modified Epoxy Resin and Carbon Fiber. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17(6), 1117–1123. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532006000600008>
- González García, F., Sampaio, E. M., Neves, A. F., & Oliveira, M. G. de. (2008). Evaluación de la adherencia de uniones adhesivas metálicas con adhesivos epoxídicos modificados. *Polímeros*, 18(1), 30–44.
- Grenier Loustalot, M. F., Larroque, S., Grenier, P., Leca, J. P., & Bedel, D. (1994). Phenolic resins: 1. Mechanisms and kinetics of phenol and of the first polycondensates towards formaldehyde in solution. *Polymer*, 35(14), 3046–3054. [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(94\)90418-9](https://doi.org/10.1016/0032-3861(94)90418-9)
- Hernández-Castorena, F., Silva-Guzman, J. A., Manríquez-González, R., López-Dellamary Toral, F. A., Rodríguez-Anda, R., Sanjuán-Dueñas, R., & Fuentes-Talavera, F. J. (2015). Efecto de la adición de furfural sobre la capacidad adhesiva de la proteína de soya. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(28), 8–25.



"Polímeros adhesivos y formación de uniones a través de reacciones de polimerización y fuerzas intermoleculares",
 Martín Caldera Villalobos y Ana María Herrera González
 Volumen 30 | Número 2 | Páginas 2-13 | Abril 2019
 DOI: [10.22201/eq.18708404e.2019.2.68197](https://doi.org/10.22201/eq.18708404e.2019.2.68197)

- Issam, A. M., Hena, S., & Nurul Khizrien, A. K. (2012). A new unsaturated poly(ester-urethane) based on terephthalic acid derived from polyethylene terephthalate (PET) of waste bottles. *Journal of Polymers and the Environment*, 20, 469–476. <https://doi.org/10.1007/s10924-011-0407-0>
- Magalhães, N. F., & Andrade, C. T. (2010). Calcium bentonite as reinforcing nanofiller for thermoplastic starch. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21(2), 202–208. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-50532010000200003>
- He, M., Zhang, Q.Y., & Guo, J.G. (2011). Synthesis and characterization of silicone based Pressure sensitive adhesive. *Advanced Materials Research*, 306–307, 1773–1778. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.306-307.1773>
- Prane, J. W. (1979). Reactivde adhesives. En R. B. Seymour, Plastic Mortars, Sealants, and Caulking Compounds (págs. 107–112). USA: American Chemistry Society.
- Salazar-Cruz, B. A., Rivera-Armenta, J. L., García-Alamilla, R., Mendoza-Martínez, A. M., Esquivel-de la Garza, A., & Moctezuma-Espiricueto, S. (2015). Evaluación térmicadel curado de adhesivos base SBR usando peróxido de dicumilo. *Quim. Nova.*, 38(5), 651–656. <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150067>
- Uribe Velasco, M. (2010). Los polímeros: síntesis, caracterización, degradación y reología. México: Instituto Politécnico Nacional.

Lectura 13: Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato

Ficha de referencia

G. Calvo-Flores, F. e Isac-García, J. (2013). Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato. *Anales de Química*. 109 (1), p. 38-44.

Disponible en

https://www.researchgate.net/publication/272684275_Introduccion_a_la_quimica_de_los_polimeros_biodegradables_una_experien- cia_para_alumnos_de_segundo_ciclo_de_la_ESO_y_Bachillerato

Sinopsis

El artículo presenta una excelente oportunidad para que los alumnos preparen en el laboratorio o en casa algunos polímeros modificados empleando papas, pegamento blanco, colorantes vegetales, glicerina y bórax. Una ventaja que ofrecen estas actividades es que los materiales son fáciles de conseguir ya sea en casa o en la tlapalería.

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizaje. A7. (C, H). Comprende que las fuerzas inter e intramoleculares modifican las propiedades de un polímero, al observar las propiedades de éstos en un experimento. (N3).

Justificación. El empleo de un agente plastificante como la glicerina en la elaboración de un biopolímero a partir de papas, o el uso de bórax con el acetato de polivinilo le permite al alumno explicar a través de las fuerzas inter e intramoleculares como es que se modifican las propiedades de los polímeros obtenidos.

Descripción de la actividad

1. Con base en el artículo el profesor puede seleccionar algunas de las actividades para que sean desarrolladas

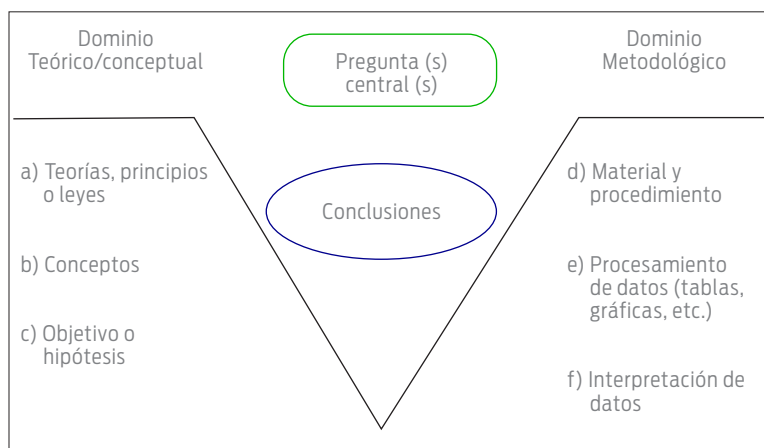
en el laboratorio o en casa (dependiendo de la disponibilidad de los materiales) por ejemplo “Obtención de polímeros a partir de patatas” y “Fabricación de una canica saltarina”.

2. Posteriormente se les entrega a los alumnos para que ellos decidan en equipos de 4 o 5 integrantes, cuál de los polímeros crearán.
3. Se solicita a los alumnos realizar una investigación en torno a las fuerzas inter o intramoleculares que se están modificando en cada uno de los polímeros obtenidos.
4. Se pide a los alumnos que realicen el diagrama de procedimiento o se puede solicitar que realicen una V de Gowin, una T tamal, o algún otro instrumento para organizar la información de la actividad realizada.
5. Se solicitan fotografías del procedimiento y de los resultados obtenidos para que se integren en el formato de reporte seleccionado.
6. Se sugiere a los alumnos que realicen modificaciones en las cantidades de las sustancias empleadas para que observen como cambian algunas de las propiedades del polímero obtenido.
7. Al final de la actividad se sugiere realizar una reflexión con los alumnos en torno a las fuerzas inter e intramoleculares que están modificando las propiedades de los polímeros obtenidos.

Nota para el profesor.

Si la actividad se realiza en el hogar se les puede solicitar a los alumnos que hagan un pequeño vídeo. Se sugiere que investiguen la toxicidad de los polímeros trabajados, así como el uso del pegamento blanco Resistol 850 en la elaboración de la canica saltarina para obtener mejores resultados.

A continuación, se presenta una propuesta de “V” de Gowin que puede ser empleada o modificada por el profesor.



Laboratorio de Química

Introducción a la química de los polímeros biodegradables: una experiencia para alumnos de segundo ciclo de la ESO y Bachillerato

Francisco G. Calvo-Flores y Joaquín Isac

Resumen: En el presente artículo se diseña una actividad teórico-práctica dirigida a alumnos de segundo ciclo de la ESO y bachillerato, encaminada a la preparación de materiales poliméricos biodegradables a partir de patatas, cola blanca (acetato de polivinilo), alcohol polivinílico y algodón, con diversas texturas, colores y propiedades mecánicas en función del método de obtención y de la adición de plastificantes y colorantes. Dicha actividad ha sido parte del Campus Científico de Verano desarrollado en la Universidad de Granada.

Palabras clave: Polímeros biodegradables, prácticas de laboratorio, enseñanza no universitaria.

Abstract: In this paper, a theoretical-practical activity is designed to high school students, in order to prepare biodegradable polymeric materials from potatoes, polyvinyl acetate, polyvinyl alcohol and cotton, with several textures, colours and mechanical properties depending on the synthetic procedure and the addition of plastificants. This activity was developed, partially at University or Granada into a Summer Scientific Campus.

Keywords: Biodegradable Polymers, laboratory experiments, high school teaching.

Introducción

Los materiales poliméricos tienen una presencia en la vida cotidiana cada vez más evidente¹. Sin embargo, su tratamiento en los niveles educativos de enseñanza secundaria obligatoria y bachillerato suele ser superficial, a pesar de la importancia y sus enormes aplicaciones prácticas.

El objetivo de este trabajo es el diseño de cuatro actividades de tipo teórico-práctico para introducir a alumnos participantes en los Campus Científicos de Verano celebrados en la Universidad de Granada en la química de los polímeros. Los participantes en dichos Campus son alumnos que cursan, en el año académico en el que se realiza la convocatoria, cuarto curso de Enseñanza Secundaria Obligatoria o primer curso de Bachillerato de las áreas científica y/o tecnológica.

A lo largo de todas las actividades propuestas se potencia la concienciación de los estudiantes acerca de los problemas

medioambientales generados por las malas prácticas relacionadas con el uso y posterior eliminación de los materiales poliméricos.

Aunque las actividades se han realizado en los laboratorios del Departamento de Química Orgánica de la Universidad de Granada, pueden adaptarse con relativa facilidad a un entorno no universitario, con recursos más limitados.

Fundamentos teóricos

Antes de realizar el trabajo de laboratorio se procede a la explicación a los alumnos de algunos conceptos teóricos básicos necesarios para la comprensión y realización del trabajo práctico de acuerdo con los siguientes ítems.

Definición de polímero y sus tipos

A partir de la etimología de la palabra polímero: *polys* (*πολύ*) mucho y *meros* (*μέρος*) parte,² se puede introducir al alumno en el concepto de polímero. Según la IUPAC, un polímero es una macromolécula, es decir, una molécula con masa molecular relativamente grande, formada esencialmente por la repetición múltiple de unidades derivadas de otras moléculas de masa molecular más pequeña denominadas monómeros mediante el proceso de polimerización.³ Un ejemplo concreto se puede ver en la Figura 1, que representa la formación del poliestireno a partir del estireno que es el correspondiente monómero.

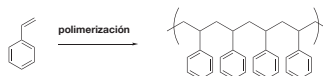


Figura 1. Polimerización del estireno.

Como modelo visual se propone el uso de clips de colores. Este sistema de visualización permite abordar fácilmente, por ejemplo, el concepto de monómero, como componente básico



F. G. Calvo-Flores



J. Isac

Grupo de Modelización Molecular
Departamento de Química Orgánica. Facultad de Ciencias.
Universidad de Granada
Severo Ochoa s.n. Campus Fuentenueva.
18071 Granada
E-mail: fgarcia@ugr.es

Recibido: 12/07/2012. Aceptado: 07/12/2012.

de un polímero, dímero, como la unión entre dos monómeros y polímero (Figura 2).

En una segunda fase se puede definir el concepto de homopolímero entendido éste como la macromolécula formada por un solo tipo de monómero, y copolímero, es decir como el material obtenido a partir de dos o más tipos de monómeros diferentes que se unen entre sí. El uso de clips de colores permite la descripción de homopolímeros y copolímeros alternados, aleatorios o por bloques sin dificultad (Figura 3).

En este apartado se indica al alumno que los polímeros no son una invención humana, con ejemplos de materiales como el cabello, la lana o el algodón se le mostrará hasta qué punto están extendidos los polímeros en la naturaleza y cómo cuando están formados por los seres vivos reciben, según la IUPAC, el nombre genérico de biopolímeros.³

Por último, dentro de este bloque se define el concepto de entrecruzamiento entre cadenas de polímeros, entendido como

la unión entre cadenas de polímeros a través de otros átomos o moléculas y cómo puede influir este efecto en las propiedades finales del material. Como modelo para visualizar esta propiedad, se puede usar de nuevo un modelo basado en clips, tal como se puede apreciar en la Figura 4. La formación de cadenas de clips resulta un modelo adecuado para la visualización de las cadenas formadas por uniones de tipo covalente.

Clasificación de los materiales poliméricos

En otro bloque de la explicación previa, se pueden abordar las diferentes clasificaciones posibles para los materiales poliméricos (Tabla 1).⁴ Debido al nivel de conocimientos que presentan los alumnos a los que va dirigida esta actividad, se pueden obviar algunas clasificaciones como las que aluden a la formación y tacticidad, que pueden resultar complejas y que no aportan mucho para los objetivos propuestos.

Tabla 1. Clasificaciones de los materiales poliméricos.

Bases de la clasificación	Tipo
Origen	Natural, sintético, semisintético
Respuesta térmica	Termoestables, termoplásticos
Formación	Adición, condensación
Estructura	Lineales, ramificados, entrecruzados
Aplicaciones	Fibras, plásticos, elásticos
Tacticidad	Isotácticos, sindiotácticos, atácticos



Figura 2. Modelo de monómero, dímero y polímero basado en clips coloreados.



Figura 3. Modelo de homopolímero y copolímero con ordenación alternada y aleatoria.

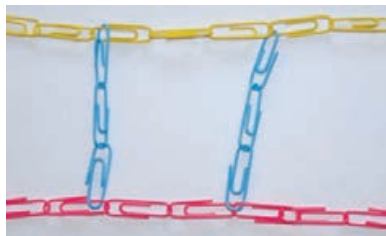


Figura 4. Modelo de polímero entrecruzado.

Aplicaciones

En este bloque se puede explicar, basado en la propiedades⁵ de los polímeros, tales como su resistencia, termoplaticidad, dureza, conductividad o aislamiento eléctrico, etc., algunas aplicaciones que explican tales su uso masivo en la vida cotidiana en materiales tan diversos como en el recubrimiento de cables eléctricos, la fabricación de lentes orgánicas en óptica, la fabricación de envases de todo tipo, textiles, tuberías o cuerdas (Figura 5), o la fabricación de prendas y chalecos antibalas con Kevlar®, un polímero cuya estructura se describe en la Figura 6, y que es cinco veces más resistente que el acero⁶.



Figura 5. Objetos fabricados con polímeros.

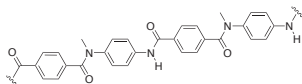


Figura 6. Estructura del Kevlar®.

Una vez llegados a este punto, se hará ver al alumno que los polímeros que se comercializan son en realidad las denominadas *formulaciones*, en donde a un polímero base se le añaden una serie de aditivos para modificar sus propiedades; como por ejemplo los retardantes de llama, colorantes o plastificantes, entre otros. Estos últimos se definirán como moléculas de pequeño tamaño tales como agua, urea, glicerol, ftalatos, etc. y, que se intercalan en las cadenas de los polímeros, modificando sus propiedades mecánicas, y por tanto, su capacidad para la fabricación de objetos, por ejemplo, con mayor o menor rigidez.

Como modelo, se puede describir el caso del almidón ya que es el que van a usar los alumnos en el trabajo de laboratorio y cómo se ve afectada su flexibilidad por la presencia o ausencia de plastificantes (Figura 7).

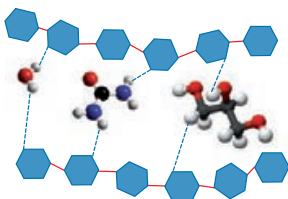


Figura 7. Modelo de plastificantes entre cadenas de almidón.

Polímeros y medio ambiente

En este último bloque se procede a plantear la problemática medioambiental del uso de polímeros en la vida cotidiana, tanto en el proceso de fabricación, como una vez que se supera la vida útil del objeto. Por un lado, la mayor parte de los polímeros disponibles en el mercado, se obtienen a partir de materias primas agotables, lo cual supone a medio plazo una dificultad, en cuanto a su disponibilidad futura, y por otro lado, la difícil degradación en el medio ambiente de la mayoría de los polímeros que se obtienen hoy en día a partir del petróleo. Por citar un caso de problema ambiental, podemos mencionar el de las anillas de plástico que sirven para empaquetar las latas de bebidas y que supone un serio perjuicio para los animales acuáticos.

Finalmente se fija la atención del alumno en tres vías para la mejora de los posibles efectos no deseados sobre el medio ambiente de los materiales poliméricos haciendo especial mención sobre el tercer punto.

1. Reciclado de materiales fabricados con polímeros evitando su vertido al medio ambiente mediante transformación en otros objetos.

2. Uso de materias primas renovables en la fabricación de los polímeros frente a las materias primas agotables.

3. Fabricación de polímeros biodegradables.

Polímeros biodegradables

Para introducir el concepto de biodegradabilidad,⁷ se puede diseñar un modelo sencillo que queda reflejado en la Figura 8, basado en cómo los microorganismos actúan, preferentemente, cuando encuentran en la materia orgánica, en general, y en los polímeros en particular, lugares más propicios para la degradación, como los átomos de nitrógeno y oxígeno,⁸ que en el caso de los polímeros deben estar preferentemente intercalados en las cadenas de la macromolécula, para que el ataque de los microorganismos en el proceso de biodegradación se vea favorecido.

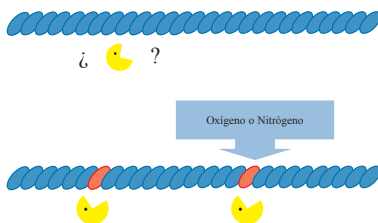


Figura 8. Modelo de polímeros biodegradables y no biodegradables.

Trabajo de laboratorio

Primera actividad: obtención de polímeros a partir de patatas

El almidón es un polímero de origen natural presente en los cereales o las patatas, formado por unidades de glucosa. Es un componente fundamental de la alimentación humana, pero a su vez puede usarse como base para la elaboración de polímeros semisintéticos, de múltiples aplicaciones, por adición de moléculas como urea o glicerol que se intercalan en las cadenas de amilosa y/o amilopectina modificando las propiedades mecánicas del polímero natural (ver Figura 7). Basándose en estas propiedades se procederá a la preparación de polímeros.⁹

Procedimiento

El almidón de la patata se extrae rallando 100 g de patatas mediante un rallador de cocina. La patata rallada se coloca en un mortero al que se le añaden 100 mL de agua y con ayuda del pistilo se machaca la ralladura hasta formar una pasta lo más homogénea posible (Figura 9). La mezcla se filtra con un colador sobre un vaso de precipitado. La operación se realiza dos veces sobre cada muestra de patata para aumentar la eficiencia en la obtención del almidón. La mezcla se deja reposar hasta que se forma en el vaso de precipitado un depósito con una pasta. Se decanta para eliminar la mayor parte del

líquido sobrenadante evitando que se remueva y finalmente, con la ayuda de una pipeta Pasteur, se elimina el agua que no se pudo quitar por decantación y sobre este material se realiza la siguiente operación. Se lleva a cabo dos veces para disponer de dos muestras de almidón.

a. Obtención de un polímero quebradizo

Reactivos

- Patatas.
- Glicerol, 2 mL.
- Disolución de ácido clorhídrico 0,1M, 3 mL.
- Disolución de hidróxido de sodio 0,1M, 3 mL.
- Colorante alimentario.

A una muestra de almidón obtenido según el procedimiento indicado, se le añaden 20 mL de agua y 3 mL de ácido clorhídrico 0,1 M. La mezcla se calienta suavemente procurando que no llegue a ebullición durante 15 minutos.



Figura 9. Procesado de las patatas.



Figura 10. Polímeros obtenidos a partir de patatas.

Se añade gota a gota una disolución de NaOH 0,1 M hasta neutralidad, comprobando el resultado con un trozo de papel indicador. Se obtiene un líquido viscoso al que se le añade dos gotas de colorante alimentario. Se mezcla con ayuda de una varilla de vidrio hasta formar una pasta homogénea. Se extiende sobre un vidrio de reloj hasta formar una película y se introduce en una estufa a 80 °C durante 1,5 horas aproximadamente, o bien se deja secar al aire hasta el día siguiente.

b. Obtención de un polímero flexible.

Se sigue un procedimiento análogo al caso anterior adicionando 2 mL de glicerol como agente plastificante. Una vez obtenidos se comparan ambos materiales (Figura 10).

Segunda actividad: fabricación de una canica saltarina

La cola blanca o cola alemana es un polímero que fue preparado por primera vez por el químico alemán Fritz Klatte (1880-1934) en 1912.¹⁰ Se obtiene mediante la polimerización espontánea del acetato de vinilo, el cual se prepara a partir de etileno, haciendo reaccionar éste con oxígeno y ácido acético en presencia de un catalizador de paladio.¹¹ (Figura 11).

Reactivos

- Cola blanca.
- Bórax.
- Harina de maíz comercial.

Procedimiento

En un vaso de precipitado de 50 mL se mezclan dos cucharadas de agua caliente y media cucharada de polvo de bórax agitando suavemente con una varilla de vidrio. En un segundo vaso de precipitado se vierte una cucharada de cola blanca (acetato de polivinilo), y se le añade media cucharada de solución de bórax sin remover. Se adiciona a esta mezcla de cola y bórax, una cucharada de almidón de maíz. Se espera 10 o 15 segundos y se agita hasta que se endurezca. Con ayuda de una cucharilla se retira la mezcla del vaso de precipitado y se tomará entre las manos (será pegajosa y no tendrá una forma definida). Se amasa la mezcla hasta formar una pelota, que cuanto más se amase menos pegajosa será. Una vez formada la bola ya se podrá botar y jugar con

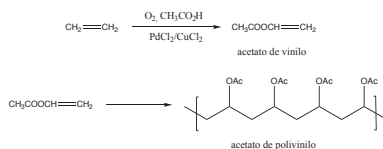


Figura 11. Reacciones de síntesis del acetato de polivinilo.

42

Francisco G. Calvo-Flores *et al.*

Figura 12. Canica saltarina.

ella (Figura 12). Se pueden alterar las proporciones de los materiales usados para conseguir distintas texturas así como adicionar unas gotas de colorante alimentario para obtener pelotas de distintos colores.¹² Para una mejor conservación, se puede guardar en una bolsa de auto-cierre.

Tercera actividad: Obtención de *slime*

Slime significa en inglés baba. Este nombre se aplica a un polímero no tóxico y biodegradable que se prepara a partir de alcohol polivinílico (PVA), bórax y al que se le puede añadir un colorante o fluoresceína. El PVA es un polímero que a su vez se prepara a partir del acetato de polivinilo, por tratamiento de éste con hidróxido sódico en metanol (Figura 13). No es un proceso de polimerización, sino de la transformación de un polímero en otro.

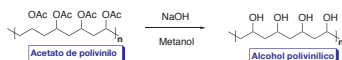
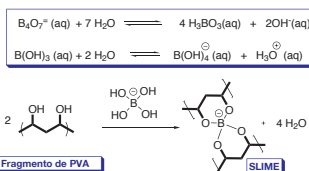


Figura 13. Reacción de síntesis del alcohol polivinílico (PVA).

El PVA presenta múltiples aplicaciones como por ejemplo, preparación de lágrimas artificiales y disoluciones para conservar lentillas, lubricantes, como barrera para agentes químicos en guantes de laboratorio, bolsas de detergente que se disuelven, emulsionante, estabilizar muestras biológicas para su análisis, preparar otros polímeros, etc. Existen en el mercado diferentes tipos de PVA con diversos rangos de masa molecular. Dependiendo del alcohol polivinílico que se use, se obtendrá un material más o menos denso, que según sus características se utiliza para la fabricación de juguetes, fluido para reparar pinchazos o en efectos especiales en el mundo del espectáculo para hacer sangre viscosa, máscaras para caracterizar a zombis y cadáveres, simular heridas, etc.

El bórax es el tetraborato de sodio decahidratado ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) que al disolverse en agua se hidroliza dando ácido bórico e iones hidroxilo (OH^-), dando un pH próximo a 9.¹³ Posteriormente, el ácido bórico reacciona con el agua para formar el anión borato. Cuando se mezclan una disolución acuosa de bórax y PVA, el ion borato se intercala

Figura 14. Estructura del *Slime*.Figura 15. Alumna manipulando una muestra de *Slime*.

entre las cadenas del polímero (Figura 14), formando enlaces covalentes,¹⁴ lo cual lleva a una modificación de sus propiedades para dar un material viscoso (Figura 15). No obstante, hay otras fuentes que postulan la formación de puentes de hidrógeno entre los iones borato y los hidroxilos de las cadenas de alcohol polivinílico.¹³ La viscosidad del material obtenido dependerá de la masa molecular del PVA empleado en la experiencia y de la proporción de bórax usada ya que ésta determinará el grado de entrecruzamiento de las cadenas. Para este caso concreto se usó un PVA de masa molecular en torno a 130,000 u.m.a. (Mowiol® 18-88 de Sigma-Aldrich®).

Reactivos

- Bórax, 1 g.
- Alcohol polivinílico, 4 g.
- Fluoresceína.
- Colorante alimentario.

Procedimiento

Se disuelve 1 g de bórax en 25 ml de agua. Simultáneamente se prepara otra disolución de 4 g de alcohol polivinílico en 100 mL de agua. Para conseguir una total disolución de éste es conveniente calentar suavemente la mezcla a una temperatura que no supere los 50 °C. En este punto se añaden unas gotas de colorante alimentario o bien fluoresceína a la disolución de alcohol y se mezclan ambas disoluciones. Rápidamente se forma el *slime* que se puede guardar en una bolsa de plástico

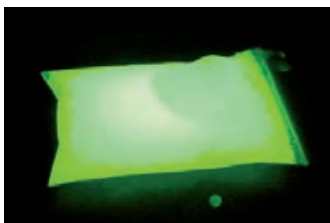
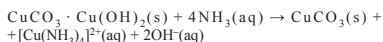


Figura 16. Slime fluorescente.

con auto cierre para evitar que se seque. Cuando se adicione fluoresceína, se puede comprobar la fluorescencia del material iluminando con una lámpara UV de una muestra (Figura 16).

Cuarta actividad: preparación de rayón

El rayón es una fibra que se obtiene a partir de la celulosa. Las fibras obtenidas se pueden teñir, hilar y tejer por lo que son muy usadas en la industria textil para la fabricación de colchas, mantas, tapicerías..., y en otras ramas de la industria (material quirúrgico, productos no tejidos, armazón de neumáticos...) y otros. Están descritos varios procedimientos para la preparación de rayón.¹⁷ En esta actividad se emplea el método denominado de cupramonio que usa sales de cobre e iones amonio y algodón o papel de filtro como fuente de celulosa.¹⁸ La reacción es:



En este caso el cobre se asocia a los grupos -OH de las cadenas de celulosa (Figura 17).^{15,16} El tratamiento con ácido sulfúrico 1 M del material obtenido, conduce a la formación de rayón.

Reactivos

- $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$, 10 g.
- Algodón, 2 g.
- Disolución de amoníaco concentrado, 100 mL.
- Disolución de ácido sulfúrico, 1 M, 500 mL.

Procedimiento

Se colocan 10 g de $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ en un vaso de precipitado de 250 mL y se añaden 100 mL de amoníaco concentrado. La mezcla se agita magnéticamente durante dos minutos en una vitrina de gases. Se deja reposar y se decanta la disolución de color azul profundo obtenida, que contiene tetraminocobre (II) vertiéndola en un segundo vaso de precipitados de 250 mL. A esta disolución se le añaden 2 g de algodón en porciones pequeñas lo más deshilachado posible, lentamente y con una buena agitación, hasta que la solución tiene la consistencia de un gel.

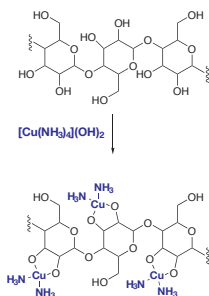


Figura 17. Celulosa modificada.

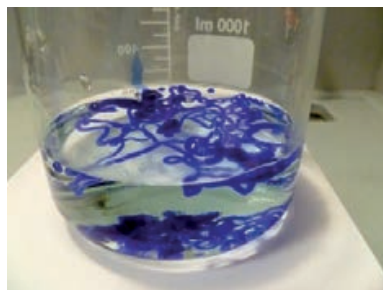


Figura 18. Fibras de rayón en un baño de ácido sulfúrico 1M.

Hay que agitar hasta que no queden grumos, evitando la formación de burbujas de aire en el líquido. La disolución completa del algodón puede tardar hasta una hora. Con ayuda de una espátula o de una cucharilla, se toma una cantidad de esta disolución con aspecto de gel, que se llama viscosa, y se llena una jeringa de plástico evitando introducir cualquier resto de grumos. Posteriormente, se inyecta el contenido de la jeringa sobre unos 500 mL de ácido sulfúrico 1 M en un vaso de precipitados de 1000 mL en una cubeta de plástico. Se obtienen unas fibras cuyo grosor dependerá de la jeringa usada que están impregnadas del complejo de cobre (Figura 18). Al cabo de unos minutos se observa la decoloración de las fibras que se pueden secar sobre un papel de filtro.

Conclusiones

En los laboratorios del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Granada se han realizado las actividades descritas como parte del Campus Científico de Verano CEI BioTic de esta Universidad, en su segunda edición. El objetivo fue de iniciar a alumnos de 4º de ESO y 1º de Bachillerato en la química de

los polímeros mediante la realización de cuatro actividades de tipo práctico precedidas de una introducción teórica. En todos los casos, los participantes en el Campus han mostrado una actitud muy positiva y un gran interés tanto por el trabajo de laboratorio como por las explicaciones recibidas. Debido al tipo de reactivos utilizados, y los procedimientos usados, dichas actividades pueden adaptarse a otro tipo de laboratorios con recursos más limitados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología, al Ministerio de Educación, Cultura y Deporte y a la Obra Social "la Caixa" la financiación recibida, así como a la Dra. Doña Ana García López (Departamento de Ingeniería Química de la UGR) su labor como coordinadora del proyecto Campus Científico de Verano CEI BioTic de la Universidad de Granada.

Bibliografía

1. R. J. Young, P. A. Lovell, *Introduction to Polymers*, 3ª Ed, CRC Press, **2011**.
2. Etimología y origen de algunos términos científicos. Universidad de Valencia <http://www.uv.es/~jaguiar/historias/etimol.html>, visitada el 22/02/2013.
3. *IUPAC Compendium of Chemical Terminology. The Gold Book* edición online. <http://goldbook.iupac.org/>, visitada el 22/02/2013.
4. P. Ghosh, *Polymer Science and Technology: Plastics, Rubbers, Blends and Composites*, 2ª Ed., pg 5, McGraw-Hill, **2001**.
5. D. M. Teegarden, *Polymer Chemistry: Introduction to an Indispensable Science*, National Science Teachers Association, Capítulo 8, **2004**.
6. <http://bit.ly/lrEetx>, visitada el 22/02/2013.
7. G. E. Luckachan, C. K. S. Pillai, *J. Polym. Environ.* **2011**, *19*, 637–676.
8. B. Puyuelo, S. Ponsá, T. Gea, A. Sánchez, *Chemosphere* **2011**, *85*, 653–659.
9. <http://bit.ly/UpydSz>, visitada el 22/02/2013.
10. Patente alemana GP 281687, **1912**.
11. *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms*, 6ª Ed., **2002**.
12. <http://bit.ly/139DpdG>, visitada el 22/02/2013.
13. E. Z. Casassa, A. M. Sarquis, C. H. Van Dyke, *J. Chem. Educ.* **1986**, *63*, 57–60.
14. L. V. Angelova, P. Terech, I. Natali, L. Dei, E. Carretti, R. G. Weiss, *Langmuir* **2011**, *27*, 11671–11682.
15. <http://bit.ly/VahqSz>, visitada el 22/02/2013.
16. G. B. Kauffman, M. Karbassi, *J. Chem. Educ.* **1985**, *62*, 878.
17. M. A. Knopp, *J. Chem. Educ.* **1997**, *74*, 401.
18. L. J. Pickard, M. E. Harris, *J. Chem. Educ.* **1999**, *76*, 1512–1513.

Lectura 14: La casa de plástico y la casa del futuro. Aportaciones de la arquitectura de mediados del siglo XX a la construcción de materiales compuestos

Ficha de referencia

Blasco, M. F., Salguero F., Delgado T. A. y Molina H. M. (2017). La Casa de Plástico y la Casa del Futuro. Aportaciones de la arquitectura de mediados del siglo XX a la construcción con materiales compuestos. Actas 1, p. 203-213.

Disponible en

<https://www.sedhc.es/biblioteca/actas/Blasco.pdf>

Sinopsis

El artículo expone de forma histórica los descubrimientos más importantes en los polímeros que llevaron a la creación de una casa del futuro en donde todo era hecho con ellos. Explicando la importancia de la química y su impacto en la sociedad, en específico en el sector de la construcción.

Unidad que apoya: Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad

Aprendizaje. A9. (H, V) Comunica de forma oral y escrita sus investigaciones, respecto a las aplicaciones y al impacto social de los nuevos materiales poliméricos, para valorar las contribuciones de la química a la sociedad.

Justificación. El contenido del artículo cubre el aprendizaje al darle al estudiante un panorama social de la importancia de los polímeros describiendo el caso específico de la construcción de la casa del futuro, así como de la importancia de la síntesis química dentro del desarrollo de materiales que impactan a la sociedad. Atenderá de manera parcial el propósito de la unidad al reconocer la necesidad de participar en la solución del problema de contaminación por el desecho de materiales.

Descripción de la actividad

1. Solicita una línea del tiempo en donde se aborden los sucesos más importantes con relación al desarrollo de polímeros que involucran a la química.
2. A partir de la lectura contesta las siguientes preguntas.

- a) ¿Cuál es la diferencia entre polímeros y plásticos?
- b) ¿Por qué fue importante para la sociedad el proyecto?
- c) Completa la siguiente tabla considerando ventajas y desventajas que se tuvieron durante la construcción de la casa debido al uso de polímeros.

Ventajas	Desventajas

- d) Realiza un ensayo en donde expongas y argumentes de acuerdo con lo visto en el texto y lo investigado ¿Qué sucedería si las casas en un futuro fueran sólo de plásticos?
- e) Investiga cómo funcionan las máquinas impresoras en 3D y qué materiales utilizan. ¿Te gustaría vivir en una casa impresa en 3D? ¿Qué problemas tendría? ¿Qué ventajas tendría?

Nota para profesor

Se puede apoyar del video <https://www.youtube.com/watch?v=u55gftYg4kI> para que los alumnos vean otra perspectiva del uso de polímeros reciclados para la construcción de casas.

Por otra parte, es importante recordar que en la línea del tiempo se pueden usar recursos y herramientas vistas en las asignaturas histórico-sociales. Se sugiere usar herramientas digitales como <https://www.visme.co/linea-de-tiempo/>

La Casa de Plástico y la Casa del Futuro. Aportaciones de la arquitectura de mediados del siglo XX a la construcción con materiales compuestos

Federico Blasco Macías
Francisco J. Salguero Andujar
Antonio Delgado Trujillo
Marta Molina Huelva

Si pudiéramos hablar de un material revolucionario del siglo XX, posiblemente ese material sería el plástico. Aunque realmente no se trata de un único material. Los plásticos se definen como materiales sintéticos que están compuestos principalmente por polímeros (Real Academia Española. 2014). Los polímeros son compuestos derivados de otros por polimerización, siendo la polimerización el acto de reunir varias moléculas de un mismo compuesto para formar otro de un peso molecular más elevado. Partiendo de esta definición, el número de materiales que podemos englobar dentro de la misma es muy grande.

Los materiales plásticos son sustancias artificiales que no existen en la naturaleza. La creación de un material artificial que permanezca inalterable ha sido un sueño de la Humanidad desde tiempos inmemoriales. Perseguido por alquimistas, encontramos que distintas culturas a lo largo de la Historia se acercaron a tal sueño y así aparecieron descubrimientos como la goma o la porcelana. Una resina sintética, procedente de hervir repetidamente un determinado queso, fue desarrollada en Augsburgo en el siglo XVI y usada para producir cuberterías y medallones (Knippers et al. 2011).

Durante los siglos XVII y XVIII se produce una transición gradual de la Alquimia a la Química, dando origen a una ciencia de trascendental importancia para que se produzca la Revolución Industrial. Muestra del interés científico de la época por la búsqueda de materiales artificiales son las palabras escritas por

Robert Hooke en su *Micrographia* (Hooke 1667):

And I have often thought, that probably there might be a way found out, to make an artificial glutinous composition, much resembling, if not full as good, nay better, then that Excrement, or whatever other substance it be out of which, the Silk-worm wire -raws his clew. If such a composition were found, it were certainly an easie matter to find very quick ways of drawing it out into small wires for use.¹

Pero no fue hasta casi doscientos años después cuando comenzarían una serie de hallazgos en cadena, protagonizados por químicos, que darían con el descubrimiento de esos nuevos materiales que hoy forman la familia de los plásticos. Alexander Parkes (1815–1890) era un metalúrgico e inventor de Birmingham que desarrolló a lo largo de su vida al menos 66 patentes. Una de sus más importantes contribuciones fue la invención en 1856 de un material flexible al que se llamó parkesina, creado a partir de tratar celulosa con ácido nítrico como disolvente. El producto resultante, conocido como nitrato de celulosa o pyroxilin, podía ser disuelto en alcohol o nafta y mezclarlo con plastificantes, como aceites vegetales o alcanfor. Se considera por algunos historiadores como el precursor del primer plástico (*Encyclopædia Britannica* 2017). El material se podía moldear al calentarlo y mantenía su forma al ser enfriado, con lo que era fácil de estampar o laminar, siendo además impermeable y resistente al agua. La parkesina se presentó con gran éxito en la Exposición Internacio-

nal de Londres de 1862, obteniendo la medalla de bronce. Animado por dicho éxito, Parkes fundó su propia compañía en 1866 para su fabricación aunque fracasó comercialmente por el hecho de sacarlo al mercado antes de que el material estuviese plenamente desarrollado y por el empleo de materiales inadecuados, que hacían que los productos fabricados se agrietaran con el tiempo. Esto mismo ha ocurrido con otros polímeros a lo largo de la historia, contribuyendo a crear una imagen de los plásticos como materiales de mala calidad.

Un hecho relevante en el avance de la investigación de los materiales sintéticos se produjo a mediados del siglo XIX con el anuncio de una empresa norteamericana de un premio de 10.000 \$ a la primera persona que pudiera producir bolas de billar de manera sintética, sustituyendo al ya escaso y caro marfil. En 1869 y basado en la parkesina, John Wesley Hyatt fue quién, añadiendo a la celulosa una mezcla de ácido nítrico y sulfúrico, consiguió producir nitrocelulosa y de ahí nació el celuloide.

El siguiente avance importante se produjo en 1907 cuando Leo Baekeland, un químico belga afincado en Estados Unidos, desarrolló la primera patente de un material hecho exclusivamente con materias primas sintéticas: el fenol-formaldehído, más conocido como bakelita. Será la primera resina fenólica y dará lugar al primer plástico termoestable (Díaz Moreno & García Grinda, 2005). Su principal componente, el fenol, es un residuo de la producción del coque, lo que hace que su producción sea muy barata. La bakelita es un buen aislante eléctrico y soporta temperaturas de hasta 300° C, lo que hizo que se encontraran distintas aplicaciones, como interruptores eléctricos o solenoides, equipos de radio o teléfonos, engranajes o discos de gramófono. No obstante, tan importante fue el desarrollo de los materiales como de las técnicas de fabricación asociadas a los plásticos, como la extrusión y el moldeo por inyección, sin las cuales la producción en masa no hubiera sido posible. Tal fue el éxito económico del invento de Leo Baekeland que animó a los químicos a desarrollar nuevos materiales sintéticos que corrigiesen las deficiencias de la bakelita, como su fragilidad o la posibilidad de adoptar otro color más allá de su original color negro o marrón. En 1912 Fritz Klatte patenta un método para producir policloruro de vinilo (PVC), superando los problemas de inflamabilidad que tenía la celulosa. La Primera Guerra Mundial su-

puso un freno al desarrollo del material y no sería hasta los años 30 en los que se comenzaría su producción en masa en aplicaciones como aislamiento de cables, tuberías y otro muchos usos (Knippers et al. 2011).

En los años 20 del siglo pasado se inicia un cambio de mentalidad y se pasa del inventor particular a la investigación dirigida por grandes laboratorios de empresas químicas. Esto dio lugar al descubrimiento, en un corto espacio de tiempo, de una gran cantidad de nuevos polímeros: el polietileno en 1933, el poliuretano en 1937, el nylon en 1938, el teflón en 1941, la silicona en 1943, la resina epoxy en 1946, el poliestireno en 1949, el policarbonato en 1956 o el polipropileno en 1957, entre otros muchos.

La industria del mobiliario y los diseñadores industriales no tardaron en darse cuenta de las grandes posibilidades que les ofrecía el material. Un temprano ejemplo lo vemos en el diseño francés en bakelita de la lámpara «Jumo Brevete» de 1945 o las fiambresas en polietileno moldeado lazadas en 1948 por la Tupper Plastic Company, fundada por el químico de DuPont Earl S. Tupper (Knippers et al. 2011). Las primeras producciones en serie de forma masiva comenzaron en 1948, como las sillas moldeadas de poliéster reforzado con fibras de vidrio de Charles y Ray Eames.

La popularidad que estaba alcanzando el material hizo que algunos arquitectos comenzaran a incorporarlo como material de construcción en sus proyectos. A continuación analizamos dos notables ejemplos, uno desarrollado en Europa y otro en América, con gran repercusión en su época. Fueron los primeros diseños que trataron de construir una casa de plástico, no solo como elemento aislante, impermeable o de revestimiento, sino como principal elemento estructural del edificio, mediante el empleo de fibras reforzadas con resinas.

LA CASA DE PLÁSTICO DE IONEL SCHEIN

Esta obra está considerada por diversos autores como la primera casa diseñada y construida enteramente con plásticos (Quarmby 1976). El proyecto es obra del arquitecto Ionel Schein, asistido por su hermano Charles, ingeniero químico, junto con el arquitectos Yves Magnan, el ingeniero René Coulon y Antoine Fasani como asesor cromático (Daufresne and Fou-

cart 2001). Ionel Schein nace en Bucarest en 1927, estudia arquitectura entre 1945 y 1948 en la Facultad de Arquitectura de la misma ciudad. En 1948 se traslada a París a estudiar en la Ecole des Beaux-Arts, donde se establece y desarrolla su vida profesional. Fascinado por las posibilidades que ofrecían los plásticos, colabora en 1953 en un número especial de *Techniques et Architecture* dedicado a las aplicaciones de los plásticos (Díaz Moreno and García Grinda 2005). La idea de construir una casa de plástico surge de su relación con Marguerite Duval, editora de la revista *Elle*, quien le presenta tanto a Charbonnages de France, el consorcio francés del carbón, como a Coulon y a Magnant, junto con los que iniciará el diseño de la Casa de Plástico. Posteriormente, en abril de 1955, el Departamento de Arquitectura del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) invita a Schein a participar en su programa de verano titulado *Plastic in the Design of Building Products*. Poco después, la *World Plastic Fair* de Los Ángeles le propone que presente un prototipo de su casa de plástico en su siguiente edición, aunque finalmente se presentó en París en 1956 (Teyssot 2013).

El diseño recuerda vagamente a la forma de la sección longitudinal de la concha de un *nautilus* y, en cierta forma, los bocetos del proyecto nos recuerdan a la espiral de Fibonacci (figura 1). La idea bajo la que se concibe el proyecto es la de diseñar una vi-



Figura 2
Transporte de los módulos en camiones (Bergdoll et al. 2008)

vienda modular prefabricada, en la que distintos módulos se puedan transportar en camiones (figura 2) y sean ensamblados para componer una vivienda ampliable de uno a tres dormitorios. Se trataba de aunar los conceptos de industrialización, escalabilidad y movilidad, pues la vivienda estaba concebida para poder ser montada, desmontada, transportada y vuelta a montar en una nueva ubicación. Para ello era necesario contar únicamente con una cimentación básica, dado su poco peso, y conexión a los suministros básicos de alcantarillado, agua y electricidad, que para mayor facilidad se situaban en el punto central de la vivienda.

El programa se desarrolla en una sola planta y estaba concebido en un desarrollo de ocho segmentos que convergen en su centro, proporcionando una visión de 380 grados (figura 3). Los segmentos tienen el mismo radio hasta llegar a las últimas cuatro secciones en las que el radio se incrementa para poder alojar las piezas de dormitorios e instalaciones. El espacio central está ocupado por la zona de día de la vivienda y en ella se sitúa la parte más importante de las instalaciones. El núcleo de la cocina, situado próximo a la entrada de servicio, era un conjunto fabricado en una sola pieza de 3,80 metros de longitud en la que se encastraban los electrodomésticos, como el frigorífico, el horno y la cocina, algo bastante novedoso para la época. Las puertas de los armarios y los cajones estaban coloreados para de-

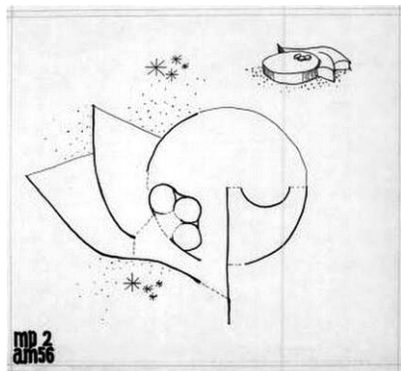


Figura 1
Boceto del proyecto de 1955 (Bergdoll et al. 2008)

206

F. Blasco, F. J. Salguero, A. Delgado y M. Molina



Figura 3
Maqueta del proyecto (Bergdoll et al. 2008)

mostrar las posibilidades de diseño del material. El núcleo sanitario es una pieza única moldeada en poliéster, donde predominan las formas curvas y donde todos los aparatos están integrados en el conjunto. El baño está compartimentado en tres para permitir un uso simultáneo: uno para el inodoro, otro para la ducha y otro de mayor tamaño que aloja al lavabo, bidé y bañera. Se aprovecha además una prolongación de este elemento para alojar el fregadero de la cocina, unificando de esta manera en este bloque toda la zona húmeda de la casa y optimizando el trazado de las instalaciones de fontanería y saneamiento. Su disposición en planta se muestra como una pieza escultórica independiente, ubicada junto a los dormitorios a los que se abren sus huecos, permite separar visualmente a éstos del resto de la vivienda (figura 4).

Ocupando la otra mitad del espacio central se distribuye el salón-comedor. Apoyándose en la pieza de la cocina se compone una estantería en la que se sitúa la televisión, en el centro de la vivienda, lo que no deja de ser significativo del papel que había adquirido ya en aquellos tiempos. Se distribuye el resto del mobiliario, como una mesa de trabajo y varios sofás, adaptándose a la curva que forma el cerramiento. Los dormitorios son bloques que se adosan al perímetro, y siguiendo la misma filosofía que en el resto de la casa, llevan el mobiliario incorporado en material plástico, como los armarios y mesas. El vidrio de las ventanas era sustituido por polimetilmetacrilato o PMMA, más conocido por el nombre comercial de *Plexiglas* completando así el uso del plástico en toda la epidermis del edificio.

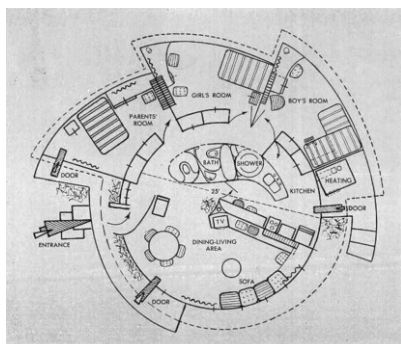


Figura 4
Plano de planta del proyecto (Hayes 1956)

La fabricación del prototipo se realizó en 1955 y debió ser un proceso bastante complicado, debido a la poca experiencia de los arquitectos en el empleo práctico de los plásticos a gran escala así como a la falta de fabricantes y personal cualificado en el entorno. Como patrocinadores del proyecto estaban Charbonnages de France y Houillères du Nord, interesadas en difundir las múltiples aplicaciones de los derivados del carbón en el campo de la construcción. En primer lugar se tuvieron que seleccionar los materiales adecuados para su fabricación, empleándose hasta catorce plásticos diferentes de entre los disponibles en aquella época. Para los elementos estructurales se optó por la fibra de vidrio y la resina de poliéster dada su relativo bajo coste de adquisición y su facilidad de fabricación (figura 5). La fabricación de las distintas piezas duró cuatro meses y llegaron a trabajar hasta cuarenta personas (figura 6). El proceso de fabricación empleado fue de laminado manual, en el que se iban apilando sobre un útil las telas de fibra de vidrio y aplicando a continuación resina de poliéster, que una vez curaba daba rigidez al conjunto (figura 7). Se fabricaron cinco moldes básicos y veinte moldes auxiliares de madera para poder producir todas las piezas del conjunto. El cerramiento lo componían unos paneles sándwich con un núcleo de poliestireno y laminado tanto exterior como interior de tejido de fibra de vidrio y resina de poliéster de cinco centímetros de espesor (figura 9). En el suelo se empleó un laminado de poliéster con un núcleo del tipo panel de abeja tra-



Figura 5
Detalle de tejido de fibra de vidrio (Schein 1958)



Figura 7
Operarios laminando sobre un molde de madera (Schein 1958)



Figura 6
Operarios en proceso de fabricación (Schein 1958)

tado con bakelita de cinco centímetros de espesor con la intención de mejorar su comportamiento acústico (Hayes 1956). Las particiones estaban compuestas por dos hojas de laminado de poliéster. La fabricación

no estuvo exenta de problemas y la falta de experiencia provocó que en ocasiones las piezas no encajasen correctamente y fuese necesario adaptarlas, cortando y retocando de manera manual (Quarmby 1976). Por tanto, la fabricación de los distintos elementos fue más artesanal que industrial. El peso total del conjunto era de nueve toneladas, unas quince veces menor que una casa de similares características construida con materiales de la época, lo que facilitaba su transporte e instalación.

El montaje entre los distintos núcleos se realizaba mediante unas costillas, situadas tanto en el techo como en el suelo, que servían tanto de elemento de unión así como para proporcionar mayor rigidez a flexión. Estas estaban fijadas mediante tornillos de manera que se permitía el desmontaje de una parte o del conjunto. La forma de las costillas facilitaba la recogida de aguas y las canalizaba hasta un bajante, situado en el centro, donde se situaban los desagües de la cocina y baño. El diseño de los distintos elementos constructivos trataba de incorporar las instalaciones, de manera que los paneles cumpliesen múltiples funciones: estructural, epidérmis y alojamiento de las instalaciones. Otra característica

del material que era aprovechada de manera notable era su capacidad de ser diseñado, en función de la fibra y resinas empleadas, en algunos casos coloreadas, de manera que permitiese un paso mayor o menor de luz, con lo que se conseguía dotar al espacio interior de una agradable sensación de luminosidad y amplitud.

El desarrollo de este proyecto y las posibilidades que ofrecían los plásticos hicieron que se planteasen soluciones que fueron realmente notables, como los elementos encastrados, las puertas moldeadas escultóricas, el equipamiento integrado, los conductos integrados en la cubierta, el desarrollo de una verdadera epidermis estructural y, en especial, el núcleo del baño con un diseño tan potente y futurista que influyó en numerosos proyectos posteriores.

El prototipo fue presentado en 1956 en el *Salón des Arts Ménagers* de París y bautizado como *La Maison Plastique* (figura 8). Tuvo un enorme éxito entre el público y gran repercusión mediática, como lo demuestra el gran número de publicaciones americanas y europeas que se hicieron eco del proyecto, como *Popular Mechanics* en agosto 1956 (figura 9) o *Informes de la Construcción* en febrero de 1958. Lamentablemente no se consiguió el objetivo de su fabricación en serie pero el prototipo superó un total de quince montajes y desmontajes hasta su ubicación definitiva en los terrenos de *Charbonnages du France*, demostrando con ello la validez del modelo y su capacidad para ser trasladado a diferentes ubicaciones.



Figura 8
Prototipo instalado en el *Salón des Arts Ménagers* de París 1956 (Bergdoll et al. 2008)



Curseway model shows central living unit with curved window wall. Bedrooms are attached at the left side

The Latest From Paris—an ALL-PLASTIC HOUSE

By Leone and Lester Hayes

THE WORLD'S FIRST all-plastic house was recently exhibited in Paris at a home-furnishings show under the joint sponsorship of a French publication and the coal industry. Everything about the house is plastic—walls, ceilings, floor. The windows are Plexiglas; the entire bath and kitchen units and even the furniture and decorative fabrics are plastic. Only chair and table legs are metal. The house weighs nine tons or about 15, as much as if it were made of conventional materials. The central part of the house—itsself a complete living unit—can be set up in a few days, and from one to three bedrooms can be added in two hours each.

This is the first major plastics-molding job ever undertaken in France. There was no factory equipped for the project and no specialized workmen; the house was fabricated in an exhibition hall at the Paris

furniture in boys' bedroom is all plastic, including "bunk" beds and desk-book shelves. Walls and furnishings are washable and have "built in" color



AUGUST 1956

89

Figura 9
Información del proyecto de la Casa de Plástico en *Popular Mechanics* (Hayes 1956)

LA CASA DEL FUTURO DE MONSANTO

Esta fue, posiblemente, la casa de plástico construida más conocida de su época, tanto por la difusión que hicieron de ella publicaciones de todo tipo como por el lugar en el que fue instalada. En 1953 la empresa química *Monsanto Chemical Company*, uno de los mayores fabricantes de plásticos del mundo, acudió al Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para proponerles financiar la investigación de una casa hecha completamente con plásticos. Este acercamiento no fue casual, dado en el MIT tenían experiencia trabajando con plásticos en el diseño de cúpulas para radares o *radomes*, partiendo de la propuesta de cúpula geodésica de Richard Buckminster Fuller.

El material con el que se fabricaron las cúpulas fue fibra de vidrio reforzada con poliéster, dado que este material es transparente a las ondas electromagnéticas, y presenta otras ventajas como peso, resistencia y un coste de producción razonable.

Tras la propuesta de Monsanto, el arquitecto Richard W. Hamilton, del Departamento de Arquitectura, y el ingeniero Albert G.H. Dietz, del Departamento de Ingeniería de Edificación y Construcción, comenzaron la investigación en lo referente al uso de los plásticos en construcción. En junio de 1955 publicaron un estudio titulado *Plastic in Housing*.² El estudio, dirigido por Richard W. Hamilton, trataba de demostrar las potencialidades del plástico en arquitectura, analizando el proceso desde el diseño inicial hasta la construcción y describiendo cómo podría ser la casa del futuro. El reto era diseñar una vivienda completa con plástico que fuese fácilmente relocizable, que se pudiera adaptar al crecimiento de las familias y que tuviese un coste razonable.

La estrategia de diseño fue explorar las posibilidades que ofrecía este material, tanto desde su procedimiento de fabricación como por su forma natural, que hace que el material optimice su función estructural y constructiva comportándose como una lámina, formando un continuo con suaves formas curvas. Pero esta visión no era novedosa. A finales de 1954 el crítico de arquitectura Douglas Haskell ya avanzaba las posibilidades de los plásticos como un material que por sí solo podía generar tanto la piel como la estructura del edificio (Meikle 1995): «With a seamless material as strong as steel at one-seventh the weight, architects could design structures as thin as egg shells, as ribbed as leaves, as corrugated as sea shells».³

La decisión final fue considerar un diseño de cáscara autoportante como la mejor solución. El equipo comenzó con la fase de diseño preliminar, liderada por Marvin Goody, profesor del Departamento de Arquitectura (figura 10). La dirección general del proyecto estaba cargo de Hamilton y la parte de ingeniería de Dietz. Para desarrollar el programa de la vivienda, de la que se pretendía que fuese un prototipo para una posterior producción en serie, se trataba de dar respuesta a las necesidades de una familia del futuro. En la próspera sociedad norteamericana de la posguerra, la movilidad era un tema que estaba cobrando gran importancia, un mayor tiempo de ocio, los electrodomésticos y la electrónica estaban incor-

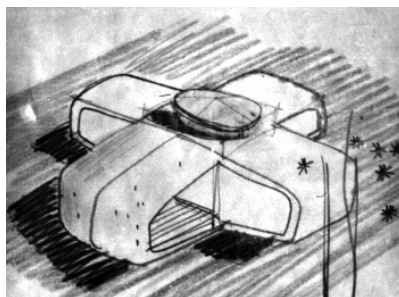


Figura 10
Boceto inicial de M. Goody para la Casa del Futuro (Goody Clancy 2017)

porándose al hogar así como una alta tasa de natalidad debida al *baby boom*. El diseño del MIT trataba de incorporar estos aspectos para proponer un nuevo modelo de vivienda. Después de dos años de desarrollo y producción, la primera casa piloto fue instalada en 1957 en Disneyland, California.

El edificio se elevaba del suelo con una planta en forma de cruz, formada por cinco cuadrados de idénticas dimensiones en planta, apoyada únicamente en su punto central. La distribución de la vivienda compartía con el diseño de Schein el disponer los núcleos húmedos en el centro del edificio, aunque en este caso con menor acierto que en caso de la Casa de Plástico puesto que uno de los dormitorios abría directamente a la cocina y al comedor, restándole intimidad. Cada una de las alas estaba destinada a un uso: salón, estar comedor y dormitorios (figura 11).

El proceso constructivo, en contraste con el diseño de Schein, requería de una obra civil de mayor calado. La casa se levantaba 1,8 m del suelo sobre una base cuadrada de muros de hormigón armado de 4,8 m de lado, que servía además para alojar las instalaciones, y sobre cuyo techo se disponían la cocina y dos baños. En este núcleo central se apoyaban las cuatro alas del edificio que funcionaban como una gran viga en voladizo de 4,8 m de largo, idéntica dimensión que el lado de la base, y en forma de C. Estas estaban unidas en su parte inferior a la base de hormigón y en la superior a un panel de cubierta que cerraba el conjunto (figura 4). La conexión entre los paneles se realizaba mediante unos perfiles metálicos

210

F. Blasco, F. J. Salguero, A. Delgado y M. Molina

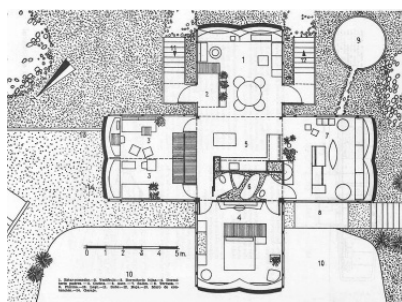


Figura 11
Plano de planta de la Casa del Futuro (Goody 1958)

a los que se iban atornillando las distintas piezas (figura 12). Cada C estaba compuesta a su vez por cuatro paneles de 2,5 m de ancho cada uno, colocados dos arriba y dos abajo, ligeramente curvados y plegados en los extremos, para conferirles mayor rigidez (figura 13).

Los paneles eran de tipo sándwich, con un espesor que variaba de los 7 a los 11 cm, que se unían unos a otros para formar las alas. Los sándwichs se fabricaron por Winner Manufacturing Company en Trenton, Nueva Jersey, mediante laminado manual sobre distintos moldes. En el proceso, los operarios iban colocando una a una las telas de fibra de vidrio, vertían la resina y pasaban una espátula de madera aplicando

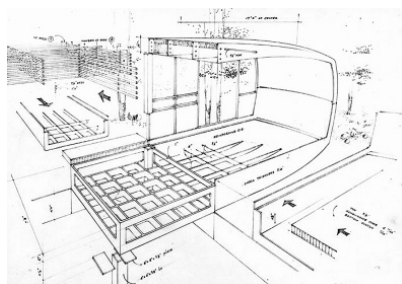


Figura 12
Detalle constructivo del proyecto de la Casa del Futuro (Goody Clancy 2017)



Figura 13
Proceso de montaje de los paneles en obra (Goody Clancy 2017)

presión para que se compactaran las telas y la resina se distribuyera de manera homogénea por el interior del laminado. Una vez apiladas hasta diez telas, se dejaba endurecer la resina a temperatura ambiente. Cuando el laminado había curado, se procedía al recorte de los bordes y se le colocaba el núcleo de espuma de poliuretano para mejorar el aislamiento y la rigidez del panel. Cuando la espuma había endurecido, un operario procedía a preparar la superficie del núcleo, a la que se pegaba el otro laminado, fabricado por el mismo procedimiento. Los paneles de techo y de suelo diferían en el espesor, llegando los de suelo a espesores de 11 cm. También el núcleo era diferente siendo el de suelo de panel de abeja impregnada con resina fenólica para mejorar su resistencia. En determinados puntos estos paneles estaban reforzados con perfiles de madera para mejorar su rigidez. El acabado final de los paneles era mediante una pintura acrílica la cual mejoraba el acabado superficial del panel y confería una protección adicional a la resina frente a los rayos ultravioleta. La unión entre los paneles se realizaba mediante uniones mecánicas y adhesivadas, selladas posteriormente para garantizar su estanqueidad, lo cual dificultaba realizar modificaciones o desmontar los paneles como se pudo ver más adelante (figura 14).

Dado el proceso de fabricación empleado y la mala calidad de los moldes, los laminados tuvieron que ser cortados con sierras mecánicas para adaptarlos a su forma final y hacerlos encajar unos con



Figura 14
Proceso de montaje de los paneles en obra (Goody Clancy 1957)

otros. El corte de los mismos se realizó de manera manual y por ello no se consiguió la precisión dimensional que les era requerida. Durante la fase de montaje, los paneles tuvieron problemas en el ensamblaje y tuvieron que ser reparados con resina epoxy, rellenado los cantos y juntas para conseguir la unión entre los distintos elementos (Meikle 1995). Algo que sobre el panel era una tarea fácil, consistente en situar los paneles y atornillar, se había convertido en un laborioso trabajo de reparación *in situ* que dilató y complicó enormemente las labores de montaje.

El peso aproximado de los paneles, tanto de la cubierta como del suelo que formaban las alas, era de unos 50 kg/m², mucho menor que cualquier otro elemento constructivo convencional. Dentro de la casa se encontraba una profusa aplicación de los plásticos, tanto en los elementos de revestimiento, como en el mobiliario y menaje del hogar. Se incluyeron diversos adelantos tecnológicos que en esos momentos se podía esperar de una casa del futuro, como podía ser el video-teléfono, cepillo eléctrico, cajones accionados eléctricamente o microondas, muchos de los cuales acabaron siendo comunes en todas las viviendas.

La casa se inauguró como una atracción en el parque Disneyland de Anaheim, California, el 11 de junio de 1957 y estuvo instalada hasta diciembre de 1967 (figura 15). Fue visitada por unos veinte millones de personas, sufriendo durante ese tiempo varios terremotos y tormentas, con vientos de hasta 150 km/h, lo que demuestra la validez estructural de su



Figura 15
La Casa del Futuro tras concluir su construcción en Disneyland (Goody Clancy 1957)

diseño. El proceso de demolición fue más complicado de lo esperado. Planteado para hacerse en un día, se emplearon sin éxito distinta maquinaria y equipos. La bola de demolición de una tonelada rebotaba en sus paredes, se partía la hoja de la sierra eléctrica y la grúa únicamente conseguía desplazar la estructura ligeramente del soporte de hormigón. Al cabo de dos semanas la casa consiguió ser demolida usando cables de estrangulamiento.

El diseño de la Casa del Futuro de Monsanto fue realmente futurista para su tiempo y un alarde estructural de la potencialidad del plástico, pero no cumplió con los objetivos de industrialización, dado que la fabricación fue bastante artesanal, ni de movilidad, ya que por problemas de fabricación, las uniones tuvieron que ser adhesivadas, impidiendo de esta manera su desmontaje y dificultando enormemente su demolición final.

EVOLUCIÓN POSTERIOR

No fueron los únicos proyectos y a éstos les siguieron muchos otros, tan reseñables como la Casa Futuro de 1968 del arquitecto finlandés Matti Suuronen; o la *Zip-Up House* de 1969 del británico Richard Rogers. A pesar del alarde de diseño, de las excepcionales características del material y de la difusión que se hizo de estos trabajos, no se consiguió soslayar el inmovilismo y el rechazo al cambio de los múltiples actores que intervienen en el proceso edilicio: promotores, arquitectos, administraciones, constructores y, por supuesto, los usuarios finales. La crisis del pe-

tróleo de 1973, que triplicó el precio de los plásticos, los problemas medioambientales que se asociaban al material y la idea de producto barato con la que lo percibía el consumidor, hicieron que estas iniciativas se fuesen progresivamente apagando hasta su invisibilidad.

Por el contrario, el material tuvo una notable evolución en otras industrias, en especial en la aeronáutica y su desarrollo de los materiales compuestos. Desde finales del siglo XX vemos un renacido interés en su empleo en arquitectura y surgen aplicaciones cada vez más novedosas en grandes proyectos, como la ampliación del Museo de Arte Moderno de San Francisco de Snohetta Architects, inaugurado en 2016, o las cubiertas de la estación del tren de alta velocidad de Medina, de Richard Foster, aún en construcción.

CONCLUSIONES

El plástico ha sido un material de vital importancia en la historia del siglo XX. Su capacidad para ser moldeado y coloreado lo hicieron merecedor de ocupar un papel preponderante en el diseño de mobiliario y otros objetos de uso cotidiano. Su incorporación a la arquitectura fue más tardía, comenzando en primer lugar con elementos secundarios y alcanzando una mayor profusión a mediados del siglo pasado. En los años cincuenta se dan varias iniciativas con el objetivo de diseñar y construir una casa *all-plastic*. Para ello se tuvieron que superar numerosos obstáculos, como el desconocimiento del material o la falta de infraestructura y personal para su fabricación, no obstante el concepto de panel sándwich usado como envolvente estructural fue realmente notable. La destrucción ocasionada por la Segunda Guerra Mundial había hecho necesaria la construcción de un gran número de viviendas y esto supuso un avance significativo para introducir el concepto de prefabricación en la industria. Parecía pues que este nuevo material artificial podría ser el idóneo para ser usado de manera masiva en la prefabricación de viviendas. Los dos proyectos analizados en la investigación fueron pioneros en este campo y tuvieron una gran repercusión mediática en su tiempo. Por distintos motivos, ninguno de los dos consiguió superar la fase de prototipo, a pesar de estar ambos respaldados por importantes empresas del sector de los plásticos, interesadas en introducir los plásticos en un sector tan importante

como la construcción. En cualquier caso abrieron un camino por el que muchos arquitectos actuales están dispuestos a continuar.

NOTAS

1. Traducción de los autores: «Muchas veces he pensado que seguramente existe un camino para averiguar cómo hacer un compuesto artificial y pegajoso que se pareciera mucho, si no tan bueno, quizás mejor, que a ese excremento cualesquiera que sea esa sustancia, con la que el gusano de seda teje su capullo. Si tal compuesto fuese encontrado, sería ciertamente fácil de encontrar un modo para extraer de él finas fibras para su uso».
2. Es de señalar que en la época en que se publica el estudio, Schein estaba participando en el curso de verano al que había sido invitado por el MIT.
3. Traducción de los autores: «Con un material continuo tan fuerte como el acero y con un séptimo de peso, los arquitectos podrían diseñar estructuras tan delgadas como la cascara de un huevo, nervadas como las hojas, onduladas como las conchas marinas».

LISTA DE REFERENCIAS

- Bergdoll, Barry y Peter Christensen. 2008. *Home Delivery: Fabricating the Modern Dwelling*. New York: Museum of Modern Art.
- Daufresne, Jean-Claude y Bruno Foucart. 2001. *Fêtes À Paris Au XXe Siècle : Architectures Éphémères de 1919 à 1989*. Mardaga.
- Díaz Moreno, Cristina y Efrén García Grinda. 2005. Obsolescencia o Reciclabilidad. Tectónica Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción. *Tectónica*, 19: 4–13.
- Encyclopædia Britannica. 2017. Alexander Parkes. Accessed May 30. <https://www.britannica.com/biography/Alexander-Parkes#ref286175>.
- Goody Clancy. 2017. Daveland Disneyland House of the Future Photo Page. Accessed June 15. <http://daveland-web.com/hof/>.
- Hamilton, Richard W., y Marvin E. Goody. 1958. Casa de plástico en EE.UU. *Informes de la Construcción* 10 (98): 2.
- Hayes, Leone. 1956. All-Plastic House. *Popular Mechanics*. August, 1956: 89–90.
- Hooke, Robert. 1667. *Micrographia: Or, Some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses with Observations and Inquiries Thereupon*. London: Royal Society.
- Knippers, Jan, Jan Cremers, Markus Gabler y Julian Lienhard. 2011. *Construction Manual for Polymers + Mem-*

La Casa de Plástico y la Casa del Futuro

213

- branes : Materials, Semi-Finished Products, Form-Finding Design*. Basel : Birkhauser Architecture.
- Meikle, Jeffrey L. 1995. *American Plastic : A Cultural History*. Rutgers University Press.
- Quarmby, Arthur. 1976. *Materiales Plásticos y Arquitectura Experimental*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Real Academia Española. 2014. *Diccionario de La Lengua Española*. Madrid : Espasa-Calpe.
- Schein, Lionel. 1958. Casa de plástico en Francia. *Informes de la Construcción* 10 (98): 9–17.
- Teyssot, Georges, 1946–. 2013. *A Topology of Everyday Constellations* [Recurso Electrónico] / Georges Teyssot. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Lectura 15: Nuevas tendencias en envases y empaques plásticos

Ficha de referencia

Jimenez, A. D., Florez, K. L., Mosquera, J. L., Mendoza, G. J., y Prada B. G. (2018). Nuevas tendencias en envases y empaques plásticos. VIII Congreso Brasileiro de Engenharia de Producao, Ponta Grossa, Brasil, p. 7-14.

Disponible en

<https://www.siicex.gob.pe/siicex/documentosportal/alertas/docu-%20mento/doc/150946945radEFB4B.pdf>

Sinopsis

El artículo resume algunos ejemplos de nuevos materiales poliméricos empleados por ciertas empresas para sustituir a los actuales artículos plásticos basados en PET (Polietileno tereftalato).

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizaje: A9. (H, V) Comunica de forma oral y escrita sus investigaciones, respecto a las aplicaciones y al impacto social de los nuevos materiales poliméricos, para valorar las contribuciones de la química a la sociedad. (N2).

Justificación. El artículo permite al alumno reflexionar sobre los materiales que se están empleando para la elaboración de nuevos polímeros que produzcan menos daño al medio ambiente.

Descripción de la actividad

1. El profesor proporciona el artículo a los alumnos para que lo lean y analicen.
2. Se solicita que en equipos de 4 a 5 alumnos realicen una infografía en la que de cada material polimérico se diga:
 - a) Nombre de la empresa que produjo el nuevo biomaterial.
 - b) País de la empresa.
 - c) Características (físicas y químicas) de los materiales de partida.
 - d) Estructuras y/o reacciones químicas de los materiales empleados para la producción de los nuevos polímeros.

- e) Uso que se le están dando al nuevo material.
 - f) Ventajas que posee.
3. En plenaria el profesor dirigirá la discusión sobre el papel de la química en el diseño de estos nuevos materiales poliméricos, sus aplicaciones, el impacto económico, social y ambiental de cada uno de ellos.

Nota para el profesor

Para realizar la infografía el profesor puede sugerir el uso de algunas aplicaciones gratuitas como:

<https://piktochart.com>

https://www.canva.com/es_419/

Se puede emplear la rúbrica de la página 65 para evaluar las infografías si el profesor lo considera pertinente.



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

Nuevas tendencias en envases y empaques plásticos

Astrid Daniela Jimenez Contreras (Universidade Francisco de Paula Santander) astriddanielajc@ufps.edu.co
 Karen Lizbeth Florez Perez (Universidade Francisco de Paula Santander) perezkarenlizbethf@ufps.edu.co
 Laura Rocio Mosquera Jiménez (Universidade Francisco de Paula Santander) laurarociomj@ufps.edu.co
 Jose Luis Mendoza Garcia (Universidade Francisco de Paula Santander) joseluismga@ufps.edu.co
 Gaudy Carolina Prada Botia (Universidade Francisco de Paula Santander) gaudyph@gmail.com

Resumen:

Los envases y empaques plásticos en el mercado mundial, constituyen una de las principales fuentes de contaminación del medio ambiente, debido a su largo periodo para descomponerse al estar elaborados a partir de Tereftalato de Polietileno (PET). Es por ello que se han incrementado los controles en la fabricación, producción y uso de empaques y envases plásticos, con el objetivo de disminuir los niveles de polución del planeta Tierra. Este artículo presenta una revisión de las nuevas técnicas, métodos y componentes en la fabricación de envases y empaques plásticos, con la finalidad de producir elementos que contengan un alto nivel de degradación en el medio ambiente, logrando así mitigar el daño ambiental ocasionado por los envases convencionales. Inicialmente, se estudió como están compuestos los envases PET actuales y el daño ambiental que causan, posteriormente se realizó una descripción de algunos casos donde se han aplicado nuevas técnicas, tendencias y tecnologías en aleaciones que sean amigables con el ambiente y viables económicamente para la industria

Palabras clave: Biodegradable, Bioplásticos, Envases plásticos, Tereftalato de polietileno (PET),

New trends in plastic bottles and packaging

Abstract

The containers and plastic packaging in the world market, constitute one of the main sources of contamination of the environment, due to its long period to decompose being made from Polyethylene Terephthalate (PET). That is why the controls have increased in the manufacture, production and use of packaging and plastic containers, with the aim of reducing the levels of pollution of the planet Earth. This article presents a review of the new techniques, methods and components in the manufacture of plastic containers and packaging, in order to produce elements that contain a high level of degradation in the environment, thus mitigating the environmental damage caused by the containers conventional. Initially, it was studied how the current PET containers are made and the environmental damage they cause, later a description was made of some cases where new techniques, trends and technologies have been applied in alloys that are environmentally friendly and economically viable for the industry.

Key-words: Biodegradable, Bioplastics, Plastic containers, Polyethylene terephthalate (PET).

1. Introdução

El aumento de la población del planeta Tierra representa un aumento directo en el uso de materias primas para satisfacer la demanda de bienes y servicios requerido por cada habitante, esto a su vez, repercute en un aumento directo en la producción de desechos, en donde los desechos plásticos abarcan un gran porcentaje; según el EPRO (European Association of



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

Plastics Recycling and Recovery Organisations) y Plastics Europe (Associations of Plastics Manufacturers in Europe), el 69.2% se recuperó a través de procesos de reciclaje y recuperación de energía, mientras que el 30.8% fue a vertederos (ver figura 1); el Programa de la ONU para el Medio Ambiente (PNUMA), afirma que, “la contaminación plástica está presente en todas partes” y asegura que “más de 8 millones de toneladas de plástico terminan en los océanos anualmente”, lo cual es motivo de preocupación por el daño causado a la flora y fauna tanto marítima como terrestre (ASAMBLEA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE DEL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, 2016) (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU), 2017). Por tal motivo se pretende regular la fabricación y usos finales del plástico con el objetivo de disminuir la polución a nivel mundial.

EN EL 2014 EL RECICLAJE DE PLÁSTICOS Y LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA ALCANZARON EL 69.2%

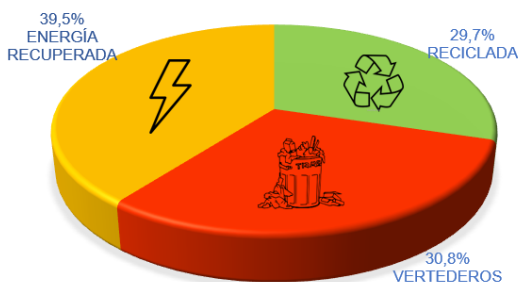


Figura 1 - Manejo de desechos sólidos para el año 2014 en Europa. Adaptado de: (PLASTICS EUROPE - ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS, 2015)

Existen normas establecidas por la Organización Internacional de Normalización (ISO), relacionadas con el proceso, manejo y control del plástico, como es el caso de la ISO 15270 del 2008 la cual se enfoca en la recuperación de desechos plásticos provenientes de fuentes pre-consumibles y pos-consumo, y las especificaciones para realizar el reciclaje de los mismos (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2008); otra norma es la ISO 14001 del 2015 que se enfoca en el manejo de desperdicios y la protección del medio ambiente (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015); estas dos normas se encaminan en los sistemas ambientales, su preservación y el impacto ambiental de las empresas que intervienen en los procesos de contaminación.

En el mundo se arrojan a la basura cerca 280 millones de toneladas de plástico al año, resultado de los productos de agricultura en un 3.4%, electricidad y electrónica en un 5.7%, automotores en un 8.6%, edificios y construcciones en un 20.1%, empaques plásticos en un 39.5% y otros como electrodomésticos, muebles, deportes, salud y seguridad en un 22.7%, según Plastics Europe (ver figura 2), las cuales tardan siglos en descomponerse.

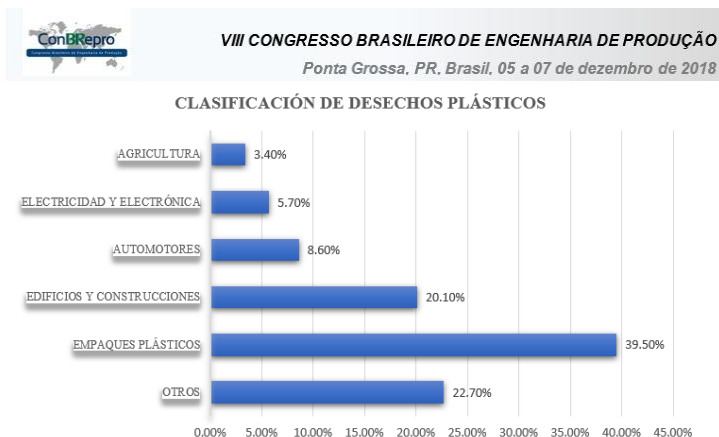


Figura 2 – Clasificación de desechos plásticos. Adaptado de: (PLASTICS EUROPE - ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS, 2015)

Se estima que el uso de plásticos aumenta un 4% anual, pero a su vez, como solución, crece paralelo el desarrollo tecnológico de estos materiales (FRIAS, IZE, & GAVILAN, 2003). Generalmente, los envases plásticos están elaborados a partir de Tereftalato de Polietileno cuya base es el petróleo, un recurso fósil no renovable, por tal motivo se están implementando nuevas aleaciones para lograr que sean biodegradables (NAVIA & VILLABA, 2013). Es por ello que en este artículo de revisión se hablará de las nuevas tendencias en envases y empaques plásticos a nivel mundial y los impactos ambientales que ocasionan los plásticos convencionales.

2. Composición de los plásticos

Los polímeros, abarcan materiales tan diversos como los plásticos, el hule, el caucho y los adhesivos; son moléculas orgánicas gigantes en cadena y se clasifican de varias formas, según la síntesis de sus moléculas, según su estructura molecular o de acuerdo con la familia química a la que pertenecen; una manera de clasificar a los polímeros, en especial la composición de los plásticos es establecer si se trata de una composición lineal o de una ramificada. Las cadenas lineales, compuestas de dos o más tipos de moléculas, en este caso átomos de carbono con átomos de hidrógeno, es mucho más fuerte y caro que el ramificado los cuales son ideales para los plásticos tipo PET, compuestos por Tereftalato de Polietileno, elaborados a base de derivados del petróleo, los cuales representan los mayores contaminantes del planeta tierra por poseer largos periodos de descomposición (ASKELAND, 1998).

3. Situación de la industria plástica alrededor del mundo

La elaboración y manejo de los plásticos a nivel de mundial es tema de mucha incidencia, es así que la situación de la industria en cinco de los países fabricantes de productos plásticos a nivel de latino América se detalla a continuación:

- México: en septiembre de 2017, en su portal export.gov, relaciona que la industria plástica mexicana creció 5.7%, más del doble comparada con la economía en 2016, cifra moderada pero que demuestra el potencial de crecimiento de la industria plástica (VIDANA, 2017) (GUEVARA, 2018).



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

- b) Brasil: según un estudio elaborado por Maxiquim para la Asociación Brasileira de la Industria de Embalajes Plásticos Flexibles (ABIEF), la industria brasileira de embalajes plásticos tuvo un desempeño positivo en el primer trimestre de 2017, la cual presentó un crecimiento en el consumo de 1,6%, comparando con el mismo semestre de 2016. Destacando un comportamiento positivo en las exportaciones de plásticos (GUEVARA, 2018), lo cual es evidencia de la adquisición de productos plásticos por parte de los ciudadanos.
- c) Perú: en abril de 2017, el analista Juan Sánchez en su informe de la industria plástica en el Perú, menciona que el Índice de Volumen Físico de productos plásticos (IVF), el cual mide la actividad de la industria de plásticos en general, se vio afectado en años anteriores por la crisis del sector construcción, pero que para 2017 se recuperó en 2,6% anual (GUEVARA, 2018), lo cual es tendencia en el aumento de producción de plásticos en este país.
- d) Argentina: para la industria plástica en Argentina, la crisis de Brasil afectó directamente sus resultados, esto debido que, del total exportado por este sector, el 56% va para el vecino país (Brasil), lo que califican como “Brasil dependencia” (GUEVARA, 2018). Para el sector de envases y embalajes de este país se espera un crecimiento de 2,5%, de acuerdo a Jorge Acevedo, gerente general del Instituto Argentino del Envase (CARBONE, 2017), las cuales son cifras alentadoras para la industria argentina.
- e) Colombia: Acoplásticos, entidad que representa el sector de la industria plástica en Colombia, mencionó en entrevista con Fierros Industrial que “2017 inició con cifras de crecimiento poco alentadoras por el reducido consumo de los hogares y esperaban que mejorara en el segundo semestre de 2017” (VALLE, 2017). Esto debido que el consumo per cápita de plástico en Colombia es de 25 kilos al año, ésta cifra se encuentra por debajo de países de la región y economías desarrolladas, pero que hay oportunidades para el crecimiento de esta industria (GUEVARA, 2018) (DUNAWAY, 2017).

Como se evidencia en cada uno de estos países, la fabricación, el consumo y uso de plásticos en diferentes procesos y actividades va en aumento, lo cual es poco alentador debido a las altas probabilidades de aumentar directamente la producción de desechos sólidos plásticos. Es así, que antes reguladores están en miras de establecer nuevas aleaciones y formas de producción de envases plásticos.

4. Impacto ambiental de los plásticos-Procesos de reciclado

Actualmente, el consumo de plásticos convencionales obtenidos de fuentes fósiles ocasiona graves problemas ambientales, dado que su disposición final genera acumulación en los rellenos sanitarios por su característica de no biodegradabilidad y además su cuestionable proceso de reciclaje (AZADEH & JAKUBOWICZ, 2013) (GIRONES & LOPEZ, 2013).

Dichos embalajes generan un problema ambiental de grandes escalas. Estos, en su mayor parte no son reciclados y son inadecuadamente dispuestos por los consumidores lo que ocasiona efecto de taponamiento de alcantarillas y afluentes, contaminación de suelos en sectores productivos entre otros (ESPINOZA, 2009) (ARANDES & BILBAO, 2004).

Por lo cual, el sector de embalajes alimentarios tiene gran participación, siendo necesario abordar alternativas para contribuir en la mitigación de este inconveniente ambiental (NAVIA & VILLABA, 2013). Una forma de contribuir con el ambiente es reciclar los múltiples envases plásticos como lo son las botellas de tereftalato de polietileno (PET) las cuales pueden ser recuperadas y recicladas, con el fin de obtener nuevos productos (SANDOVAL & VICTOR, 2011). El proceso de reciclaje de las botellas PET consiste inicialmente en una adecuada selección de las botellas para ser molidas de manera mecánica. Las hojuelas (flakes) de PET



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

obtenidas se transforman en fibra corta de poliéster. Este insumo, combinado con otras fibras en proporciones pertinentes, puede usarse para la fabricación de ropa, relleno de cojines, alfombras, cortinas, etcétera. Además, reciclar el PET contribuye a cuidar nuestro medio ambiente (MANSILLA & MARCOS, 2009). Los nuevos elementos constructivos desarrollados utilizando PET reciclado son una alternativa posible para la elaboración de cerramientos de construcciones, más ecológica, liviana, económica, y de mejor aislación térmica que la mampostería de ladrillos comunes de tierra cocida que se utilizan tradicionalmente con una resistencia mecánica similar. Por su bajo costo y tecnología simple los elementos constructivos producidos son especialmente aptos para viviendas y construcciones de interés social y a su vez generan una fuente de trabajo para personas de escasos recursos (GAGGINO, 2003) (GAGGINO, 2003).

5. Nuevas tendencias en plásticos

Dentro del mundo de los envases y empaques se maneja una cuota alta de plásticos que compiten con materiales tradicionales como el cartón. Sin embargo, gracias a las propuestas de sostenibilidad y de diseños personalizados con formas, tamaños y colores únicos, los polímeros se han convertido en una buena opción a la hora de fabricar empaques, pues además de ser flexibles, diversos y con propiedades particulares, hoy en día existen alternativas que reducen el daño al medio ambiente. Es así, que la industria de plásticos cada día se vuelve más exigente y busca soluciones innovadoras que otorguen valor agregado a sus productos, con el fin de diferenciarse ante los consumidores y los fabricantes o competidores (REGALADO & GUZMAN, 2005) (TIRADO, 2016). Es por ello que a continuación se mencionaran algunas de las nuevas tendencias para la producción de plásticos en la fabricación de empaques y envases a nivel mundial.

En la industria actual se habla de empaques híbridos, los cuales se refieren a la utilización de dos o más materiales de empaque para lograr una solución en una misma estación de empaque o línea. El objetivo de estos sistemas híbridos es brindar economía, sensaciones táctiles, nuevas texturas y apariencias, nuevas funcionalidades y reducir en la medida de lo posible el impacto ambiental de los plásticos. Las aplicaciones de los empaques híbridos se encuentran en diferentes áreas: energía, ambiental, biología, medicina, óptica, electrónica, entre otras. Las aplicaciones son de amplio espectro desde membranas y componentes de separación, hasta recubrimientos funcionales inteligentes, sensores, cosméticos, empaques terapéuticos, empaques inteligentes, dispositivos de liberación controlada de ingredientes activos y muchas más. El futuro de los empaques híbridos está relacionado con mercados de nicho, la sofisticación e incorporación de tecnología. Sin embargo, deber ser ambiente, consumir menos energía en su manufactura, prever su cierre de ciclo de vida (reciclaje) y ser confiables. (NORIEGA & PILAR, 2017).

Es así que en la actualidad existe gran variedad de materiales para fabricar empaques como es el caso de los plásticos verdes o bioplásticos, los cuales son una opción muy viable para la manufactura de estos productos, no solo porque evitan un porcentaje de uso de químicos, sino porque les otorgan un segundo uso a plantas, residuos, frutas, verduras, entre otros, además de ser muchas veces biodegradables y/o de fácil reciclaje (VILLADA, ACOSTA & VELASCO, 2007) (THARANATHAN, 2003). Por ello, a continuación, se mencionan algunos productos obtenidos de bioplásticos.

a) Los estudiantes del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) fabrican envases de plástico con semillas de tamarindo, los cuales tienen propiedades antimicrobianas. "Son envases que sirven para productos de la salud, además tienen



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

propiedades antimicrobianas para evitar la contaminación de éstos, lo que les da una ventaja competitiva”, señalaron los creadores. Los empaques fueron diseñados dentro de la materia Formación para el Desarrollo del Liderazgo Emprendedor, y los integrantes del equipo obtuvieron una beca completa para estudiar en el extranjero y una beca del 100% en la Incubadora de Empresas del Tecnológico de Monterrey (ORTEGA, 2014).

b) RPC (Promens Consumer Nordics) desarrolló un envase para leche con capacidad de un litro, fabricada por completo con un biopolímero producido a partir de caña de azúcar. La Modul fue moldeada por soplado y está disponible con opción de cierres y con una etiqueta de cuatro lados. Una característica adicional es la mezcla del polímero con una carga mineral especial, lo que reduce la cantidad de polímero requerida para cada botella sin afectar su resistencia y rendimiento, aumentando su beneficio medioambiental. (FLOREZ, 2016)

c) Ma-ter-bio es una nueva bolsa bioplástica para frutas y verduras; Novamont y Barbier Group firmaron un acuerdo para desarrollar este nuevo tipo de bolsa ligera bioplástica a base de plantas que ofrecerá una alternativa más sostenible a los envases tradicionales no biodegradables y no plástico-compostables. Para su fabricación se obtiene del almidón de origen local y de aceite de girasol, además se produce cogn al menos un 35%, o hasta más del 50%, de contenido renovable a partir de biomasa (FLOREZ, 2016).

d) Biopack es un empaque basado para aplicaciones farmacéuticas; en este empaque que Gerresheimer presentó en la pasada Pharmapack 2016, fue fabricado a partir de materia prima proveniente de la caña de azúcar, está orientado a sustituir el PE y PET gracias a que tiene propiedades similares y puede ser utilizado para productos farmacéuticos en estado líquido o sólido, así como para cosméticos. Además, el material es 100% reciclable. (FLOREZ, 2016)

e) Coca-Cola también produjo su primera botella PET fabricada 100% de plantas, envase que hace parte del proyecto PlantBottle de la compañía, cuyo objetivo es desarrollar alternativas más sustentables de materia prima que permitan producir envases más responsables en comparación con el método tradicional en el que se usan combustibles fósiles y otros recursos no renovables. La firma usa la caña de azúcar y los residuos derivados del procesamiento de ésta, para convertirlos en ingredientes para la fabricación de sus botellas. (DIANA T., 2016)

En la industria del plástico también se realizan estudios e investigaciones encaminados a la creación de aleaciones en polímeros con la finalidad de ser implementados en envases y empaques. Es así que se han obtenido los siguientes avances:

a) En el marco del proyecto Ecoplaso, integrantes de EXACTEC desarrollaron un biopolímero elaborado a partir de residuos como las cáscaras de frutas y verduras, por medio del proceso de modificación química de almidones. El bioplástico se fabrica en láminas y pellets, además de estar en investigación de filamentos para impresión 3D. Su fin último es la elaboración de platos, pitillos y vasos (FLOREZ, 2016).

b) Diseñadores egresados del CUAAD crearon Friya, una bolsa ecológica para transportar alimentos congelados y está fabricada con materiales reciclables como cáscaras de huevo; mientras que la bolsa interior está hecha con un bioplástico producido a partir de almidones, caña de azúcar, maíz o huesos de aguacate. Adicionalmente, la bolsa contiene un químico que no afecta el medio ambiente que permite que los alimentos se mantengan congelados por hasta



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

dos horas. Soporta hasta cuatro kilos de peso y tiene una vida útil de 6 a 12 meses (FLOREZ, 2016).

c) Científicos del Instituto Politécnico Nacional (IPN) e investigadores de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) desarrollaron un empaque inteligente a partir de la celulosa del agave tratadas con hidrólisis ácida (HCL) e hidrólisis alcalina (NaOH) y con ayuda de micro y nanopartículas que refuerzan las propiedades mecánicas de las películas biodegradables, permitiéndoles cambiar de color cuando entran en contacto con un producto que varía su acidez (NARANJO, Y OTROS, 2016) (SAUCEDO, CASTRO, RICO, & CAMPOS, 2010) (RHIM & PERRY, 2007). De esta forma, estas películas son ideales para su uso en la fabricación de empaques inteligentes que sirvan como indicadores de la caducidad de los alimentos (FLOREZ, 2016).

d) Investigadores en Singapur desarrollaron un nuevo material fabricado a partir de una película compuesta basada en quitosán, reforzada con extracto de semillas de uva la cual es capaz de desacelerar el crecimiento de hongos, doblando la vida de alimentos comestibles perecederos, tales como el pan. El quitosán es un polímero natural y biodegradable, derivado del cascarón del camarón y otros crustáceos, con propiedades inherentes antimicrobianas y anti-hongos. Por otro lado, el extracto de semilla de uva tiene características antisépticas, germicidas, anti-bacterianas, fungicidas y antivirales (FLOREZ, 2016).

e) Eggypay es un innovador envase plástico que además de cumplir su función de almacenamiento y protección, sirve de juguete sostenible gracias a que las cajas pueden usarse como piezas de construcción encajables. Son elaborados con 100% de polipropileno reciclable por medio del proceso de moldeado por inyección, tienen aprobación para el contacto con alimentos, pesan menos que una caja de huevos normal y ocupan solo la mitad del espacio de almacenamiento, mejorando su transporte (TIRADO, 2016).

f) El Instituto Fraunhofer Umsicht creó un envase bioplástico constituido principalmente de ácido poliláctico (PLA) el cual trabaja el nuevo concepto de envase que prescinde de los combustibles fósiles y no compete con la industria de alimentos. Allí se usan residuos post industriales de procesos de producción de bio-diesel, en donde se utilizan algas, los cuales son una fuente alternativa de biomasa para plásticos con base biológica. Las propiedades de este producto se mejoran mediante nano fibras y rellenos provenientes del banano, así como también de cáscaras de almendras o residuos de los peces como la quitina de los crustáceos. Estas nano cáscaras de quitina funcionan mejorando la resistencia del material y previniendo su deterioro (TIRADO, 2016).

g) Embaquim es una de las empresas líderes en la producción de embalaje en forma de bolsa en caja (bag-in-box, BIB) la cual presentó, junto con Braskem, la primera bolsa "I'm green" para el mercado brasileño que se produce con películas fabricadas a partir del plástico verde de etanol de caña de azúcar (fuente renovable) y resinas de última generación, con un espesor menor a la de las bolsas convencionales. Con esta composición, el peso del embalaje fue reducido en 16%. Gracias a que el polietileno verde no se degrada, el CO₂ capturado por el producto durante su procesamiento (de la caña de azúcar hasta su producción) se mantiene fijo durante todo el ciclo de vida del plástico, esto permite reciclar el embalaje (TIRADO, 2016).



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

Todos estos desarrollos hacen parte de las muchas soluciones que buscan las empresas y entes industriales con la finalidad de disminuir la contaminación y el daño medio ambiental generado por los plásticos.

6. Conclusiones

Los empaques plásticos generan un gran problema ambiental debido que muchos de estos no son reciclados y una vez que son utilizados se convierten en residuos que forman parte de los residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan en grandes cantidades. Los residuos sólidos urbanos originan problemas de contaminación del agua, aire y suelo, que impactan directamente al ambiente y a la salud. Por tanto, una forma de mitigar este impacto ambiental es reciclando los envases plásticos, y a su vez apostarles a los nuevos envases que son creados para mitigar el daño ambiental.

Actualmente las industrias latinoamericanas como México, Brasil, Perú, Argentina y Colombia se ha evidenciado un aumento en la producción de plástico, lo cual repercute en ganancias millonarias para estas industrias y el gobierno de cada país, pero esto a su vez aumenta de manera directa la producción de desechos principalmente plásticos, lo cual contribuye en un aumento de la contaminación ambiental afectado todos los ecosistemas y a las personas que dependen de ellos.

Las investigaciones pertenecientes a industrias y campos investigativos, se han dado a la tarea de desarrollar nuevas formas y aleaciones en empaques plásticos y alimenticios elaborados de materiales no convencionales tales como semillas de tamarindo, cáscaras de huevo, o en el caso de Coca Cola a partir del uso de caña de azúcar; a su vez, también existen empaques y envases formados de biopolímeros y bioplásticos aprovechando los desechos generados de biomasa, reduciendo el impacto ambiental ocasionado por los plásticos comunes.

Referencias

- ARANDES, J., & BILBAO, J. Reciclado De Residuos Plasticos. *Revista Iberoamericana de Polimeros*. (2004).
- ASAMBLEA DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE DEL PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE. (08 de 03 de 2016). Disponible <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/17560/K1600820%20Doc%205%20S.docx?sequence=11&isAllowed=y> . Recuperado el 16 de 02 de 2018
- ASKELAND, D. (1998). *Ciencia E Ingeniería De Los Materiales*. Mexico: international thomson editores S.A .
- AZADEH, S., & JAKUBOWICZ, I. Recycling Of Bioplastics, Their Blends And Biocomposites: A Review. *European Polymer Journal*, 2840-2858. (2013).
- CARBONE, F. *La nación*. Disponible en <https://www.lanacion.com.ar/2045270-envases-la-industria-que-viste-a-la-produccion-para-salir-al-mundo>. (20 de julio de 2017). Recuperado el 4 de mayo de 2018
- DUNAWAY, D. Innovaciones En Resinas Abren Nuevos Mercados A Fabricantes De Bolsas. *Tecnología del plástico*. (2017).
- ESPINOZA, E. Modelo De Gestion De Residuos Plasticos . *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. (2009).
- FLOREZ, L. Bioplásticos. *Tecnología del plástico*, 31(4), 30-31. (2016).
- FRIAS, C., IZE, I., & GAVILAN, A. La situación de los Envases de Plásticos en México. *Gaceta Ecológica*(69), 67-82. (2003).
- GAGGINO, R. Elementos Constructivos Con Pet Reciclado. *Revista Tecnología y Construcción*., 19(2), 51-64. (2003).



VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Ponta Grossa, PR, Brasil, 05 a 07 de dezembro de 2018

- GAGGINO, R. Nueva Tecnología Constructiva Usando Materiales Recicladados Para Casos De Emergencia Habitacional. *Revista invi*, 18(47), 120-132. (2003).
- GIROÑES, J., & LOPEZ, J. P. Natural Fiber-Reinforced Thermoplastic Starch Composites Obtained By Melt Processing. *Composites Science and Technology*, 72(7), 858-863. (2013).
- GUEVARA, D. ¿Será 2018 Un Año De Reactivación Para La Industria Plástica En América Latina? *tecnología del plástico*, 32(6), 20. (2018).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *Iso - International Organization For Standardization*. (06 de 2008). Recuperado el 02 de 03 de 2018, disponible en <https://www.iso.org/standard/45089.html>
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 14001*. Recuperado el 02 de 03 de 2018, (2015). Disponible en <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14001:ed-3:v1:es>
- MANSILLA, L., & MARCOS, R. Reciclaje De Botellas De Pet Para Obtener Fibra De Poliéster. *Ingeniería Industrial*(27), 123-137. (2009).
- NARANJO, C., ALAMILA, L., GUTIERREZ, G., TERRES, E., SOLORZA, J., ROMERO, S., MORA, R. Isolation And Characterization Of Cellulose Obtained From Agave Salmiana Fibers Using Two Acid-Alkali Extraction Methods . *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(1), 31-43. (2016).
- NAVIA, D., & VILLABA, H. Impacto De La Investigación En Empaques Biodegradables En Ciencia, Tecnología E Innovación. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11(2), 173-180. (2013).
- NORIEGA, & PILAR, M. D. Empaques Híbridos: Oportunidades De Crecimiento Y Diferenciación. *tecnología del plástico*, 32(5), 30-33. (2017).
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). *noticias onu*. (copyright © naciones unidas) Recuperado el 15 de 03 de 2018, (12 de 05 de 2017). Disponible en <https://news.un.org/es/story/2017/05/1378771>
- ORTEGA, M. Fabrican Envases De Plástico Con Semillas De Tamarindo. *tecnología del plástico*, 29(1), 6. (2014).
- PLASTICS EUROPE – ASSOCIATION OF PLASTICS MANUFACTURERS. *Plastics – The Facts 2015* An Analysis Of European Plastics Production, Demand And Waste Data. Brussels, Belgium. (2015)
- REGALADO, C., & GUZMAN, C. Diseño de la Formulación de un Material de Empaque Flexible y Comestible a Base de Aislado Proteínico de Suero. *Conciencia Tecnológica*, 27-30. (2005).
- RHIM, J.-W., & PERRY, K. Natural Biopolymer-Based Nanocomposite Films For Packaging Applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(4), 411-433. (2007).
- SANDOVAL, D., & VICTOR, U. *Diseño Y Construcción De Un Prototipo De Máquina Recicladora De Botellas Plásticas Pet De 400 A 500 ml Y Latas De Aluminio De 330 A 350 ml*. Sangolquí - Ecuador. Recuperado el 23 de febrero de 2018. (7 de diciembre de 2011).
- SAUCEDO, J., CASTRO, A., RICO, J., & CAMPOS, J. Optimización De Hidrólisis Ácida De Bagaso De Agave Tequilana Weber. *revista mexicana de ingeniería química*, 9(1), 91-97. (2010).
- THARANATHAN, R. Food Derived Carbohydrates-Structural Complexity And Functional Diversity. *Food Science and Technology*, 14(71-78). (2003).
- TIRADO, D. Empaques Plásticos: Innovación Y Sostenibilidad. *tecnología del plástico*, 31(1), 18-24. (2016).
- VALLE, A. *Fierros Industrial*. Recuperado el 4 de mayo de 2018, (2017). Disponible en <https://fierrosindustrial.com/noticias/la-industria-esta-avanzando-en-empaque-envases-ecoamigables-presidente-acoplásticos/>
- VIDANA, M. *Export.Gov*. (Helping U.S. Companies Export), (19 de septiembre de 2017). Recuperado el 4 de mayo de 2018, disponible en <https://www.export.gov/article?id=Mexico-Plastic-Materials-Resins>
- VILLADA, H., ACOSTA, H., & VELASCO, R. Biopolymers Naturals Used In Biodegradable Packaging. *Temas Agrarios*, 12(2), 5-13. (2007).

Lectura 16:

Biopolímeros: avances y perspectivas

Ficha de referencia

Valero-Valdivieso, et al. (2013). Biopolímeros: avances y perspectivas, *Dyna*, vol. 80, 181 (80) , Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. pp. 171-180.

Disponible en

<https://www.redalyc.org/pdf/496/49628728019.pdf>

Sinopsis

El artículo resume algunas características y propiedades de tres tipos de biopolímeros que con el tiempo han adquirido cierta importancia en el mercado, los polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxialcanoatos (PHA)).

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizajes: A9. (H, V) Comunica de forma oral y escrita sus investigaciones, respecto a las aplicaciones y al impacto social de los nuevos materiales poliméricos, para valorar las contribuciones de la química a la sociedad. (N₂).

Justificación. Los temas fuerzas intermoleculares y propiedades de los polímeros son empleados por el alumno para entender y explicar las ventajas químicas, ambientales, económicas y sociales de los biopolímeros que están presentes en el artículo.

Descripción de la actividad

1. El profesor proporciona el artículo a los alumnos para que lo lean y lo analicen en grupos de 4 a 5 estudiantes.
2. Se solicita que realicen una representación gráfica en la que queden plasmados los siguientes aspectos de cada biopolímero:
 - a) Material en el que se basan: Nombre químico y estructura química.
 - b) Materiales empleados para realizar modificaciones al material base.
 - c) Reacción química y/o estructura del nuevo biopolímero.
 - d) Propiedades que adquiere el nuevo biopolímero.
 - e) Ventajas del nuevo biopolímero.

f) Usos y aplicaciones del nuevo biopolímero

3. El profesor elegirá al azar dos equipos para que exponga su representación gráfica.
4. Los demás equipos evaluarán el trabajo de sus compañeros con el apoyo de alguna rúbrica que utilice el docente.
5. En plenaria el profesor dirigirá la discusión sobre el rol de la química en el diseño de estos materiales poliméricos, sus aplicaciones el impacto económico, social y ambiental.

Nota para el profesor

Si los alumnos deciden realizar algún mapa para organizar la información el profesor puede sugerir el uso de Mindmodo o Creately para mayor facilidad.

<https://www.mindomo.com/es/>

<https://creately.com/>

BIOPOLÍMEROS: AVANCES Y PERSPECTIVAS

BIOPOLYMERS: PROGRESS AND PROSPECTS

MANUEL FERNANDO VALERO-VALDIVIESO

Doctor en ingeniería Química, Universidad de La Sabana, manuel.valero@unisabana.edu.co

YAMILETH ORTEGÓN

Estudiante de maestría en diseño y gestión de procesos, Universidad de La Sabana, yamilethorfe@unisabana.edu.co

YOMAIRA USCATEGUI

Estudiante de maestría en diseño y gestión de procesos, Universidad de La Sabana, yomaira.uscategui@unisabana.edu.co

Recibido para revisar Mayo 16 de 2011, aceptado Junio 4 de 2013, versión final Junio 6 de 2013

RESUMEN: Los biopolímeros basados en recursos renovables y/o biodegradables están generando un creciente interés no solo en la industria de los plásticos sino en la sociedad en general. El objetivo de este trabajo es analizar el campo de los biopolímeros, su panorama actual y los últimos avances y desarrollos. Se analizarán biopolímeros importantes del mercado divididos en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxiclcanoatos (PHA)).

PALABRAS CLAVE: biopolímeros, biodegradación, almidón, aceites vegetales, PLA, PHA

ABSTRACT: Biopolymers based on renewable resources and/or biodegradable are generating a growing interest in the plastics industry and society in general. The aim of this paper is to analyze the field of biopolymers, their current situation and recent advances and developments. Biopolymers will be analyzed by principal markets divided into three groups: polymers based on renewable resources (starch and cellulose), biodegradable polymers based on monomers biobased (vegetable oils and lactic acid) and biopolymers synthesized by microorganisms poly(hydroxyalkanoates (PHA)).

KEYWORDS: biopolymers, degradation, starch, triglyceride oils, PLA PHA

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de polímeros sintéticos es considerado uno de los grandes avances del siglo XX, debido a la multiplicación de sus posibilidades de uso, no solo en la industria sino en la vida cotidiana [1,2]. Estos polímeros sintéticos se obtienen fundamentalmente a partir del petróleo y son creados para funciones específicas [3]. Los plásticos son populares porque son a la vez, económicos, livianos, resistentes a la oxidación, inalterables a los agentes atmosféricos, versátiles, aislantes de la corriente eléctrica y pueden sustituir la madera, la piedra o el metal.

Sin embargo, estas mismas ventajas pueden ser sus peores inconvenientes. La alta resistencia a la corrosión, al agua y a la descomposición bacteriana los convierte en residuos difíciles de eliminar y, consecuentemente, en un grave problema ambiental. El polietileno y el polipropileno (bolsas plásticas)

pueden tardar hasta 500 años en descomponerse [4]. La cifra global de residuos plásticos aumenta año tras año, lo que genera un importante problema para su gestión. La versatilidad de este material ha ocasionado un incremento de su consumo y, por lo tanto, de la contaminación. Según algunos reportes, el mundo consume un millón de bolsas plásticas por minuto, es decir, más de 500 billones al año [5]. De otra parte, es bien sabido que la sociedad en general, y la industria de los plásticos en particular, tiene actualmente una peligrosa dependencia del petróleo. Cada vez es más evidente que una economía dependiente del petróleo tiene grandes debilidades por la incertidumbre tanto del suministro como del precio del mismo [6]. El objetivo de este escrito es plantear las posibilidades de encontrar un sustituto de los polímeros sintéticos y mostrar el avance y los retos que tiene esta línea de investigación en la que están comprometidos importantes esfuerzos económicos y humanos en todo el mundo y que constituye un interesante y prometedor campo de acción para los investigadores.

2. ALTERNATIVA: BIOPOLÍMEROS

El aumento de los precios internacionales del petróleo, la inestabilidad de la situación geopolítica de las regiones que poseen las grandes reservas mundiales y el consenso global sobre la necesidad de promover el desarrollo de tecnología que disminuya la emisión de gases de efecto invernadero, como el CO_2 , han impulsado la producción de productos químicos a partir de materias primas basadas en fuentes renovables [9-11].

El reciclado es y será una solución, pero se produce sobre el residuo ya generado y, además no es una alternativa efectiva para todos los plásticos. Los biopolímeros suponen, en cambio, una solución desde el origen del problema. Los biopolímeros, que en su mayor parte proceden de recursos renovables, se convierten en una interesante alternativa para la industria de los plásticos [10,12-14]. Estos bioplásticos pueden procesarse mediante las mismas tecnologías que los materiales termoplásticos convencionales, tales como extrusión, inyección o soplado [15]. Así, los polímeros basados en recursos renovables o biodegradables están generando un creciente interés, tanto en la sociedad en general como en la industria de los plásticos, así como en el sector agrícola, ya que supondría una salida de sus productos hacia mercados diferentes.

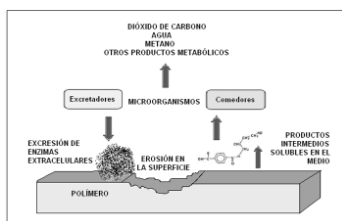


Figura 1. Proceso general de biodegradación

Los biopolímeros se dividen en aquellos basados en recursos renovables y degradables que cumplen todos los criterios de las normas científicamente reconocidas para biodegradabilidad y compostaje de plásticos y productos plásticos. Los primeros no son necesariamente biodegradables o compostables, aunque la mayoría lo son. Los del segundo grupo, no necesariamente tienen que estar basados en materias primas renovables para cumplir la norma, ya que la

biodegradabilidad está más directamente relacionada con la estructura química que con el origen de las materias primas [16].

El término biodegradación en el campo de los polímeros hace referencia al ataque de microorganismos a estos materiales, proceso a través del cual se obtiene la desintegración del polímero en pequeños fragmentos debido a la ruptura de enlaces en su cadena principal. La biodegradación de plásticos generalmente es un proceso complejo. Debido al tamaño molecular de los polímeros y a su falta de solubilidad en agua, los microorganismos no son capaces de transportar el material polimérico a sus células donde la mayoría de procesos bioquímicos tienen lugar, por lo que inicialmente excretan enzimas extracelulares que depolimerizan el material fuera de las células (Figura 1). Los productos finales de este proceso metabólico son agua, dióxido de carbono, metano (biodegradación anaerobia) y materia orgánica [17-19].

Los biopolímeros se pueden clasificar según su fuente (Figura 2), de las cuales se analizarán los biopolímeros más importantes del mercado divididos en tres subgrupos: polímeros basados en recursos renovables (almidón y celulosa), polímeros biodegradables basados en monómeros bioderivados (aceites vegetales y ácido láctico) y biopolímeros sintetizados por microorganismos (polihidroxialcanoatos (PHA)) [20,21]. Existen otros polímeros basados en recursos renovables pero con mucho menor potencial en el mercado, por lo cual no serán incluidos en este trabajo.

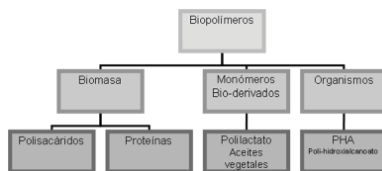


Figura 2. Clasificación de los biopolímeros

2.1. Biopolímeros extraídos directamente de la biomasa

Biopolímeros basados en almidón: Entre los productos de base biológica, la mayor parte de la investigación se ha hecho sobre el almidón [22]. Está formado por una mezcla de dos polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es

una molécula lineal y la amilopectina es una molécula ramificada. Los almidones más comunes contienen alrededor del 25% de amilosa y 75% de amilopectina [23]. El 75% de los polímeros de almidón se utilizan para la fabricación de envases y embalajes. El 50% de ellos están constituidos por mezclas de almidón con otros polímeros basados en petroquímica [24]. Las mezclas de almidón con poliésteres alifáticos mejoran su procesabilidad y biodegradabilidad, para ello, los poliésteres más adecuados son policaprolactona (PCL) y poliésteres alifático-aromáticos (Figura 3). Estas mezclas se utilizan para fabricar láminas y películas de alta calidad para embalaje. Schroeter y colaboradores [25] estudiaron el efecto del almidón como relleno en sistemas de policaprolactona. El módulo de elasticidad del sistema policaprolactona/almidón se incrementó con el aumento del contenido de almidón [26].

El almidón también ha sido utilizado como agente reforzante en elastómeros de poliuretano (PU). Desai y colaboradores [27] utilizaron el almidón como agente entrecruzante en elastómeros de poliuretano. Seung-Kyu [28] incorporó gránulos de almidón en un sistema de poliuretano. En dichos trabajos, se adicionó almidón de yuca al aceite de hígado de pescado y polioles derivados, con el fin de incrementar la funcionalidad del aceite mediante la incorporación de gránulos de almidón de yuca debido a los grupos hidroxilo presentes en la estructura del almidón. Se determinó que el principal efecto del almidón es reforzante. Se identificó la separación de fases entre el gránulo de almidón y la matriz de poliuretano. Se destaca que en este trabajo se logró cuantificar el efecto reforzante del almidón en función de la suspensión utilizada en la síntesis del PU: la adición de almidón incrementa el esfuerzo de ruptura y el módulo de elasticidad del material, resultado del entrecruzamiento físico formado por los enlaces de hidrógeno (a través de los grupos hidroxilo presentes en el almidón). El efecto reforzante del almidón disminuye con la formación de agregados [29]. En la Figura 4 se presenta en detalle la SEM microfotografía del gránulo de almidón dentro de la matriz del PU.

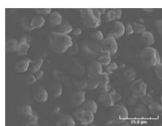
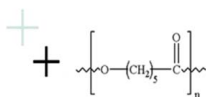


Figura 3. Mezclas almidón y PCL



En estudios posteriores se evaluó el grado y velocidad de biodegradación de sistemas de poliuretano/almidón, en función de su densidad de entrecruzamiento, utilizando como medios degradativos suelo enriquecido y cultivos de microorganismos extraídos del mismo. Se encontró que los poliuretanos sintetizados de polioles, resultado de la incorporación física del almidón, fueron más susceptibles al ataque microbiano, debido a que los gránulos de almidón de la estructura se degradan más fácilmente a causa de los microorganismos [30].

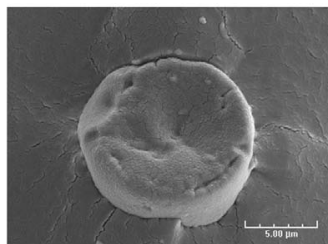


Figura 4. SEM microfotografía del gránulo de almidón dentro de la matriz de poliuretano

En conclusión, el almidón es un polímero con alto potencial de utilización en la síntesis de materiales biodegradables. Sin embargo, su uso tiene limitaciones debido a su baja resistencia a la humedad, baja procesabilidad e incompatibilidad con algunos polímeros hidrofóbicos. Por consiguiente, se han investigado estrategias para superar estas limitaciones incluyendo la modificación de la estructura del almidón, mezclas con otros polímeros biodegradables, uso de compatibilizantes para mejorar la adhesión interfacial entre el almidón y el polímero y la adición de fibras o arcillas reforzantes. Diversos métodos se han desarrollado para lograr modificar el almidón, por ejemplo la modificación química del almidón por glucosilación y posterior transesterificación con el aceite de hígado de pescado original y modificado para obtener los denominados poliol-glucósidos. Se propuso utilizar la reacción de glucosilación para dividir el almidón en unidades de monosacáridos (Figura 5). El glucósido obtenido reaccionó por transesterificación con el aceite de hígado de pescado y el aceite modificado. Esta ruta surgió como búsqueda de una alternativa para un mejor aprovechamiento de los grupos hidroxilo del almidón. Como resultado, se comprobó que los elastómeros de

poliuretano obtenidos a partir de los poli(ol-glucósidos e IPDI) presentan mejores propiedades físico-mecánicas, fisicoquímicas y térmicas que los materiales homólogos preparados a partir de polioles con almidón sin modificar. Se destaca el haber encontrado materiales con altas propiedades mecánicas a partir de los poli(ol-glucósidos), comparables con materiales tradicionales de ingeniería como el poliestireno de alto impacto. Premisa importante: los biopolímeros pueden ser obtenidos a bajo costo con excelentes propiedades mecánicas [31].

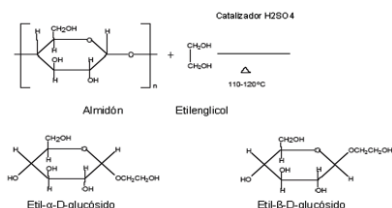


Figura 5. Reacción general de Glucosilación

Otra alternativa evaluada fue la modificación química del almidón por reacción de acilación con anhídrido propiónico (Figura 6), para posteriormente mezclarlo con el aceite de hígado de bacalao. El objetivo de la modificación fue sustituir los hidrógenos presentes en los grupos hidroxilo de la molécula de la amilosa por uno de los grupos propionil del anhídrido propiónico en la reacción de acilación. Los elastómeros de PU obtenidos de las suspensiones aceite-almidón modificado con anhídrido propiónico (AMP) poseen un mayor esfuerzo último, una mayor dureza y una menor elongación de ruptura que los materiales homólogos obtenidos a partir de suspensiones aceite-almidón. Estas propiedades obedecieron a una mayor adhesión interfacial presente entre los gránulos de AMP (fase dispersa) y la matriz de PU (fase continua), debido a que las fuerzas de atracción (relacionada con la polaridad de las moléculas) son mayores entre el PU y el AMP que para PU y almidón original, bajo las condiciones de síntesis teniendo la misma relación NCO/OH e igual porcentaje de agente modificador [32].

El almidón termoplástico (TPS) es esencialmente almidón modificado por la adición de plastificantes y procesado bajo condiciones de presión y calor hasta destruir completamente la estructura cristalina

del almidón y formar un almidón termoplástico amorfo. Frente a los polímeros plásticos corrientes, el almidón termoplástico presenta desventajas tales como: su solubilidad en agua, alta higroscopicidad, envejecimiento rápido debido a la retrogradación y bajas propiedades mecánicas, lo cual limita algunas aplicaciones tales como empaque. Estos problemas se han reducido cuando se incorporan en la matriz termoplástica rellenos naturales como fibras celulósicas que sirven como material de refuerzo para mejorar las propiedades mecánicas [22,33].

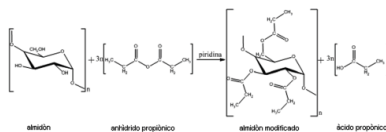


Figura 6. Esquema de la reacción de Acilación del almidón de yuca con anhídrido propiónico

Biopolímeros basados en celulosa: La celulosa se forma por unión de moléculas de β-glucosa mediante enlaces β-1,4-O-glucosídicos; tiene una estructura lineal en la que se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos OH de las cadenas de glucosa y originan las fibras compactas que constituyen la pared celular [34]. Los polímeros basados en celulosa se producen mediante modificación química de celulosa natural. Los principales representantes son el celofán, el acetato de celulosa, el éster de celulosa, la celulosa regenerada para fibras y los biomateriales compuestos de celulosa. En el algodón, la celulosa está disponible en su forma prácticamente pura; por el contrario, en la madera está presente junto con lignina y otros polisacáridos. Los ésteres de celulosa se utilizan en la fabricación de membranas y otros medios de separación. Los polímeros de celulosa también pueden usarse en procesos de extrusión y moldeo. La fibra regenerada de celulosa se utiliza mezclada con otras para la fabricación de prendas de vestir y en materiales higiénicos desechables [35]. La celulosa de plantas y la celulosa de bacterias tienen la misma estructura química, pero diferentes propiedades fisicoquímicas. Las bacterias generalmente producen celulosa como un componente extracelular para protección de agentes mecánicos y químicos, así como para facilitar la adhesión de células a tejidos huéspedes. El mercado de celulosa es un mercado maduro a excepción de la celulosa producida por vía bacteriana [36, 37].

2.2. Biopolímeros obtenidos a partir de monómeros bio-derivados

Aceites vegetales. Hoy en día los aceites vegetales son una de las fuentes más importantes en la síntesis de biopolímeros. Los aceites vegetales pueden ser obtenidos de plantas y, en su mayoría, están compuestos por triglicéridos. Un triglicérido es un producto éster obtenido de una molécula de glicerol y tres moléculas de ácidos grasos. Los triglicéridos son moléculas altamente funcionales, y, por lo tanto, se han utilizado en la síntesis de polímeros reticulados a través de dos estrategias principales. La primera, es aprovechar los grupos funcionales presentes en los triglicéridos, tales como dobles enlaces internos, alcoholes, o epóxidos, que se pueden polimerizar usando diferentes métodos. La segunda estrategia depende de modificaciones químicas antes de la polimerización. Este enfoque resuelve el inconveniente de la baja reactividad de triglicéridos naturales mediante la introducción de grupos funcionales fácilmente polimerizables [38]. Entre los aceites de triglicéridos que se utilizan en la preparación de biopolímeros se encuentran el de linaza, girasol, higuierilla, soja y palma. Dado que los aceites vegetales varían ampliamente en sus propiedades físicas y químicas en función de los ácidos grasos de su estructura, la elección del aceite vegetal juega un papel importante en las propiedades del polímero. Algunos tipos de polímeros preparados a partir de aceites de triglicéridos se enumeran a continuación: poliésteres, poliuretanos, poliamidas, resinas acrílicas, resinas epoxi y poliéster amidas [39].

De los aceites vegetales, especial interés ha recibido el de higuierilla ya que se caracteriza por ser uno de los pocos aceites vegetales cuya composición se reduce casi a la de un solo componente: el 90% corresponde al triglicérido del ácido ricinoleico. El aceite de higuierilla es un importante reactante en la síntesis de poliuretanos debido a su composición, estructura química y funcionalidad. Los poliuretanos son producto de la reacción de diisocianatos con componentes que contienen grupos hidroxilo. Los poliuretanos obtenidos a partir del aceite de higuierilla (Figura 7), presentan propiedades como buena resistencia química al ataque por solventes bajo módulo de Young, baja resistencia al rasgado y baja resistencia a tratamientos con alta temperatura. Estas propiedades son atribuidas principalmente a la baja funcionalidad del aceite, la

baja velocidad de curado, debido a que los grupos hidroxilo se ubican en carbonos secundarios, y a las largas cadenas de ácidos grasos del aceite que originan un poliuretano de estructura irregular, causada por los impedimentos estereoquímicos durante la formación [40].

En trabajos previos realizados por el autor y colaboradores [30-32] se evaluaron las alternativas de funcionalización del aceite de higuierilla y la relación estructura-funcionalidad de los políoles resultantes. Se llevó a cabo la síntesis de políoles obtenidos a partir de recursos naturales, como el aceite de higuierilla y el almidón de yuca.

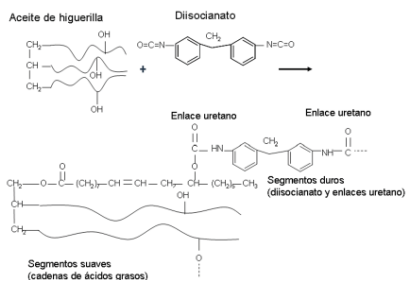


Figura 7. Poliuretano a partir de aceite de higuierilla

En trabajos posteriores, se prepararon recubrimientos para ser aplicados sobre sustratos de madera y acero para su posterior caracterización por medio de pruebas de biodegradabilidad, ataque químico, tensión, abrasión y adhesión. A continuación, se resumen los principales resultados obtenidos: los recubrimientos obtenidos a partir de los poliol-glucósidos presentan mayor resistencia al ataque químico, mayor resistencia de adhesión, mayor resistencia a la abrasión, mejores propiedades tensiles y brindan una buena protección al sustrato sometido a un ambiente de biodegradación. Un segundo aspecto se relaciona con que los recubrimientos obtenidos a partir de poliol-suspensiones presentaron los valores más bajos en las pruebas de tensión, debido a que la rigidez de los gránulos de almidón genera puntos críticos de concentración de esfuerzos los cuales provocan la falla del material bajo tensión. Comparando algunos adhesivos disponibles comercialmente con los recubrimientos sintetizados en este trabajo, se encontró que éstos últimos presentan mejores características

adhesivas que los adhesivos comerciales comunes usados para madera y acero [41].

Poli(ácido láctico) (PLA): El poli(ácido láctico) es un polímero sintético termoplástico de la familia de los alfa-hidroxiácidos o poliésteres alifáticos derivado al 100% de materias primas renovables, que se producen a partir del ácido láctico [42] (Figura 8). El ácido láctico o 2 hidroxi-propiónico es un ácido orgánico que se halla en la naturaleza en forma de L(+) o D(-) ácido láctico [43]. El ácido láctico se produce por fermentación anaerobia de sustratos que contengan carbono, ya sean puros (glucosa, lactosa) o impuros (almidón, mezclas) con bacterias y hongos. Las moléculas de PLA pueden ser sintetizadas mediante un proceso de polimerización por condensación de ácido láctico a temperatura no inferior a 120°C, o por debajo de esta temperatura en presencia de catalizadores. Mediante este método, solamente es posible obtener polímeros de bajo peso molecular ($PM < 10.000$). Para la obtención de copolímeros de elevado peso molecular, es necesario tener como materiales de partida los dímeros cíclicos del ácido, en presencia de catalizadores y condiciones controladas de temperatura y presión [44].

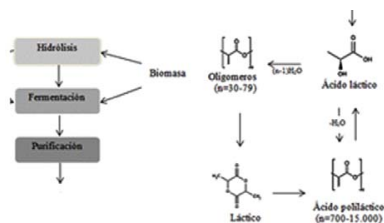


Figura 8. Síntesis de PLA

Entre las ventajas que presenta el PLA se tiene que es biodegradable, reciclable y compostable. Es así como, se puede degradar en dióxido de carbono, agua y otras moléculas pequeñas en condiciones de compostaje, contribuyendo así a la simplificación del proceso de compostaje [45]. Adicional a esto, es biocompatible, es decir, no produce efectos tóxicos o cancerígenos en los tejidos locales. Puede ser procesado por moldeo, inyección, extrusión de película, moldeo por soplado, termoformado, hilado de fibras, y de formación de película. De otro lado, el PLA permite ahorrar energía debido a que se requiere de un 25-55% menos energía

para su producción que los polímeros basados en el petróleo [46].

El PLA se caracteriza porque sus propiedades mecánicas son buenas en comparación con otros polímeros termoplásticos (como el PET, el poliéster termoplástico más conocido) [47]. El PLA también presenta buenas propiedades de barrera frente a olores y sabores. De igual forma, tiene alta resistencia a grasas y aceites por lo que es apropiado para el envasado de aceites, productos secos y perecederos [48,49]. Para mejorar sus propiedades el PLA puede modificarse con agentes plastificantes o mezclándolo con otros polímeros [50]. El PLA ha sido utilizado en aplicaciones biomédicas en sistemas de liberación controlada de fármacos, gracias a su biocompatibilidad, biodegradabilidad

[42,43]. La condensación directa del ácido láctico es una reacción de equilibrio que presenta dificultades para separar el agua del medio de reacción en las últimas etapas de la polimerización, lo que limita el peso molecular obtenido. El polímero obtenido es por lo tanto frágil y de escasa aplicación industrial. Sin embargo, en los últimos años se han realizado progresos mediante una policondensación secuencial en estado fundido [51,52].

2.3. Polímeros producidos por los organismos directamente

Poli(hidroxiálcanoatos) (PHA): Los biopolímeros de tipo polihidroxiálcanoato son poliésteres sintetizados por ciertas bacterias que los acumulan como reservas de carbono y energía, en forma de gránulos intracitoplasmáticos, constituidos por unidades repetitivas de diversos hidroxiácidos o mezclas de ellos, producidos mediante fermentación de materias primas renovables [47,53]. Mientras la producción de poli(ácido láctico) es un proceso de dos etapas (fermentación para obtener el monómero seguida de un paso convencional de polimerización química), los PHA son producidos directamente mediante fermentación de una fuente de carbono por parte del microorganismo. Los PHAs son sustitutos atractivos de los poliésteres de origen petroquímico, dado que en la naturaleza, los microorganismos son capaces de degradarlos hasta CO_2 y agua, en condiciones aerobias, y hasta metano, en condiciones anaerobias, por acción de las enzimas PHA despolimerasas y PHA hidrolasas.

Otra ventaja de estos biopolímeros está asociada con los sustratos utilizados para su síntesis: mientras para la producción de plásticos sintéticos se requiere materia prima de origen petroquímico, los PHAs se pueden obtener a partir de diferentes desechos agroindustriales, que constituyen materiales orgánicos de bajo costo. La gran diversidad de PHAs (en la actualidad existen más de 150 tipos de PHAs), se debe al hecho de que el tipo y la composición de los monómeros constituyentes se pueden adaptar para lograr mayor biocompatibilidad y mejores propiedades de uso final, así como una tasa de degradación del polímero deseado [14, 48].

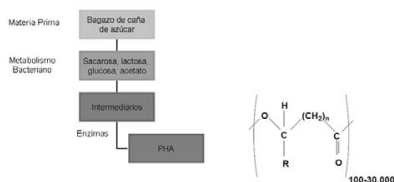


Figura 9. Esquema de la producción de PHA

El tipo de polímero producido depende fundamentalmente de la cepa bacteriana utilizada, la fase de crecimiento microbiana y del sustrato o mezcla de sustratos suministrados a las células para su crecimiento (Figura 9) [49]. Desde el punto de vista industrial, se destacan el PHB (utiliza fuentes sencillas de carbono como fructosa o glucosa y es biocompatible ya que permite ser implantado en el cuerpo humano, por lo que se ha empleado en aplicaciones biomédicas, y se ha demostrado que es biodegradable en un sinnúmero de ambientes), y el copolímero Poli 3(HB-co-HV)). De igual forma, existen diversos sustratos que por su naturaleza de desechos, podrían incidir favorablemente en los costos de producción de los biopolímeros. Entre los sustratos económicos más usados se encuentran: la melaza de caña (la cual requiere una fermentación acidogénica previa a la producción de PHAs), residuos de la industria del arroz y los lactosueros. Otras fuentes de carbono frecuentes son los ácidos grasos volátiles (acético, butírico y propiónico), obtenidos de la degradación de algunos desechos orgánicos lipídicos, pero que deben utilizarse en bajas concentraciones, debido a su toxicidad celular [50].

Los PHAs tienen un alto grado de polimerización, con un grado de cristalinidad en el rango de 60 a

80%, son activos óptimamente (ya que presentan un carbono quiral), isotácticos e insolubles en agua. Estas características los hacen altamente competitivos con el polipropileno y otros plásticos derivados del petróleo [9]

Inicialmente, los PHAs fueron usados en películas de empaquetado en bolsas, contenedores y empaques de papel, estas películas también pueden ser usadas para hacer láminas con otros polímeros como el alcohol polivinílico. Se han reportado otras aplicaciones como utensilios, productos higiénicos femeninos, contenedores de cosméticos y envases de shampoo. Además de su potencial como material plástico, los PHAs también son usados como precursores quirales para la síntesis química de componentes óptimamente activos que finalmente son empleados como portadores biodegradables para la dosificación de medicamentos, hormonas, insecticidas y herbicidas a largo plazo. También son usados como materiales osteosintéticos en la estimulación de crecimiento de hueso por sus propiedades piezoeléctricas en placas de hueso, estructura quirúrgica, y como reemplazo en vasos sanguíneos [51].

A pesar de las evidentes ventajas de los PHAs frente a los plásticos derivados del petróleo, su uso actual está muy limitado debido a su alto costo de producción. Por este motivo, gran parte de las investigaciones realizadas sobre los PHA en los últimos años se han concentrado en reducir los costos de producción y aumentar la productividad utilizando diversas estrategias. En ellas se encuentran al rastreo de nuevas cepas productoras, la optimización de las estrategias de cultivo y la producción de PHA utilizando cepas recombinantes. Es así como, el uso de organismos genéticamente modificados hace parte de las principales estrategias que utilizan las empresas de mayor trascendencia en el mercado de los PHAs. El conocimiento de los genes de síntesis y enzimas asociadas a la estabilización del gránulo de PHAs es imprescindible para llevar a cabo la manipulación genética de las células de interés.

3. CONCLUSIONES

Retos de la Producción de Biopolímeros

- Producción de biopolímeros para usos industriales que sean competitivos con los costos de los polímeros tradicionales:

Dos componentes son cruciales en la determinación del precio de polímeros elaborados con materias primas renovables y su evaluación es imprescindible para garantizar una competencia con los polímeros de origen de la industria petroquímica: el costo de las materias primas y de la energía, así como la inversión de capital para establecer una unidad de producción industrial.

Diferentes aspectos se han evaluado con el fin de aumentar la productividad y reducir el costo de la producción de PHA como: mejora de bacterias, uso de subproductos de la industria como materia prima, diseño de biorreactores, estrategias de operación del proceso, modelado matemático; caracterización, aplicación y biodegradabilidad de las mezclas de polímero.

Los biopolímeros basados en el almidón, como se producen a partir de recursos de bajos costos y con métodos de producción más sencillos, son más económicos que los de algunos polímeros sintéticos por lo que esta línea de trabajo es prometedora.

- El desarrollo de nuevas aplicaciones será crucial para lograr aumentar los volúmenes de producción y rentabilidad asociada a estos materiales:

La concientización entre los consumidores y la población en general sobre las ventajas que estos materiales pueden aportar al ahorro de los recursos energéticos y a la disminución de la contaminación es importante para aumentar su demanda en diversos sectores como el productor de alimentos y de productos de uso doméstico, el electrónico y, de esa forma, alcanzar cuotas de mercado que hagan rentable su producción. Así el trabajo conjunto de los grupos de investigación en gestión ambiental y nuevos materiales puede lograr avances en este campo.

- Plantear líneas de investigación que apunten a aumentar la rapidez de degradación (en rellenos sanitarios convencionales los polímeros no se degradan con la rapidez esperada). El PLA es resistente al ataque de microorganismos en suelos o lodos a temperatura ambiente. El polímero debe primero hidrolizarse a temperaturas superiores a 58°C para reducir el peso molecular antes de que la biodegradación comience. Por tanto, no es compostable en las condiciones típicas. En condiciones normales de uso y almacenamiento es un plástico bastante estable

- Realizar alianzas de la Academia con el sector productivo, ya que la fabricación de polímeros biodegradables requiere de infraestructura y grandes inversiones iniciales.

REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica* ISBN 958-97393-4-2, pp. 1-140, 2004.
- [2] López, C., Xantanos biopoliméricos: Propiedades reológicas y aplicaciones. *CienciAcierta*, 7 (25), 2011.
- [3] Bastioli, C., Global status of the production of biobased packaging materials. *Starch-Stärke*, 53 (8), pp. 351-355, 2001.
- [4] Gross, R. and Kalra, B., Biodegradable polymers for the environment. *Science*, 297 (5582), pp. 803-807, 2002.
- [5] Novo, M., La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible, *Revista de Educación*, (1), pp. 195-217, 2009.
- [6] Novo, M., *El desarrollo sostenible: su dimensión ambiental y educativa*, Editorial Universitas, Madrid, España, ISBN: 978-84-7991-262-8, pp. 1-431, 2009.
- [7] Mejía, L., Diagnóstico de la cadena productiva petroquímica plásticos y fibras sintéticas [pregrado]. Bucaramanga, Colombia: UIS, 80 p., 2011.
- [8] DNP. Agenda interna para la productividad y la competitividad. Documento sectorial. Cadena petroquímica, Agenda interna sectorial, pp. 1-59, 2007.
- [9] Vergara, B., López, M. y Pérez, F., Una perspectiva de los polihidroxialcanoatos bacterianos. *Avance y Perspectiva*, 4 (4), pp. 1-15, 2012.
- [10] Philp, J.C., Ritchie, R.J. and Guy, K., Biobased plastics in a bioeconomy, *Trends Biotechnol.*, 31 (2), pp. 65-67, 2013.
- [11] DiGregorio, B.E., Biobased performance bioplastic: Mirel, *Chem Biol.*, 16 (1), pp. 1-2, 2009.
- [12] Moreno, N., *Comportamiento mucoadhesivo de biopolímeros farmacéuticos en contacto con mucinas* [MSc.]. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de

Colombia, P. 139, 2011.

[13] Muniyasamy, S., Murali, R., Misra, M. and Mohanty, A., Biodegradable green composites from bioethanol co-product and poly(butylene adipate-co-terephthalate), *Industrial Crops and Products*, 43 (0), pp. 812-819, 2013.

[14] Reddy, M.M., Vivekanandhan, S., Misra, M., Bhatia, S.K. and Mohanty, A., Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities, *Progress in Polymer Science*, 2013.

[15] Villada, H.S. y Acosta, H.A., Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables, *Temas Agrarios*, 12 (2), pp. 5-13, 2007.

[16] Bastioli, C., Biodegradable material for various applications, *Biopolymers: General Aspects and Special Applications*, Steinbuechel, Alexa, 10, 2003.

[17] ASTM International. ASTM D-5988. S2004.

[18] Müller, R.J., Biodegradability of polymers: Regulations and methods for testing, *Biopolymers Online*, DOI: 10.1002/3527600035.bpola012, 2005.

[19] Lucas, N., Bienaime, C. and Belloy, C., Polymer biodegradation: Mechanisms and estimation techniques – A review, *Chemosphere*, 73 (4), pp. 429-442, 2008.

[20] Vilpoux, O. and Averous, L., Starch-based plastics. *Technology, Use and Potentialities of Latin American Starchy Tubers*, pp. 521-553, 2004.

[21] Yu, L., Dean, K. and Li, L., Polymer blends and composites from renewable resources, *Progress in Polymer Science*, 31 (6), pp. 576-602, 2006.

[22] Tabi, T., Sajo, I., Szabo, F., Luyt, A. and Kovacs, J., Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing, *Express Polym Lett.*, 4 (10), pp. 659-668, 2010.

[23] Otey, F.H. y Doane, W.M., Chapter XI - chemicals from starch., Eds. *Starch: Chemistry and technology (second edition)*, San Diego: Academic Press, pp. 389-416, 1984.

[24] Avérous, L., Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: A review, *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, 44 (3), pp. 231-274, 2004.

[25] Schroeter, J., On the mechanical properties of native starch granules, *Starch-Stärke*, 44 (7), pp. 247-252, 1992.

[26] Ratto, J., Stenhouse, P. and Auerbach, M., Processing, performance and biodegradability of a thermoplastic aliphatic polyester/starch system, *Polymer.*, 40 (24), pp. 6777-6788, 1999.

[27] Desai, S., Thakore, I., Sarawade, B. and Devi, S. Structure-property relationship in polyurethane elastomers containing starch as a crosslinker, *Polymer Engineering & Science*, 40 (5), pp. 1200-1210, 2000.

[28] Seung, K.A., The crosslinking of polyurethane incorporated with starch granules and the rheological properties, *Macromolecules. Matter. Eng.*, pp. 288:569, 2003.

[29] Valero, M.F., *nuevos materiales poliméricos, a partir de aceite de higuera modificado, estireno y almidón de yuca* [PhD]. Bucaramanga, Colombia: UIS, 158 p., 2009.

[30] Valero, M.F., Pulido, J.E., Ramírez, Á. y Cheng, Z. Determinación de la densidad de entrecruzamiento de poliuretanos, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 19 (1), pp. 14-21, 2009.

[31] Valero, M.F., Pulido, J.E., Hernández, J.C., Posada, J.A., Ramírez, A. and Cheng, Z., polyurethanes based on castor oil chemically modified with yucca starch glycoside, *Journal of Elastomers and Plastics*, 41 (3), pp. 223-244, 2009.

[32] Valero, M.F., Pulido, J.E. y Ramírez, Á., Poliuretanos elastoméricos obtenidos a partir de aceite de ricino y almidón de yuca original y modificado con anhídrido propiónico, *Quim.Nova.*, 33 (4), pp. 850-854, 2010.

[33] Curvelo, A., de Carvalho, A. and Agnelli, J., Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: Preliminary results, *Carbohydr Polym.*, 45 (2), pp. 183-188, 2001.

[34] Gallur, M., Presente y futuro de los biopolímeros como material de envase, Itene, easy fairs, Barcelona, pp. 1-51, 2010.

[35] Klemm, D., Heublein, B., Fink, H. and Bohn, A., Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material, *Angewandte Chemie International Edition*, 44 (22), pp. 3358-3393, 2005.

[36] Römling, U., Molecular biology of cellulose production in bacteria, *Res Microbiol.*, 153 (4), pp. 205-212, 2002.

[37] Ross, P., Mayer, R. and Benziman, M. Cellulose biosynthesis and function in bacteria, *Microbiol Mol Biol Rev.*, 55 (1),

pp. 35-58, 1991.

[38] Montero de Espinosa, L. and Meier, A.R., Plant oils: The perfect renewable resource for polymer science, *European Polymer Journal*, 47 (5), pp. 837-852, 2011.

[39] Çaylı, G. and Küsefoglu, S., Biobased polyisocyanates from plant oil triglycerides, *J Appl Polym Sci.*, 109 (5), pp. 2948-2955, 2008.

[40] Sperling, L. and Mishra, V., The current status of interpenetrating polymer networks, *Polym Adv Technol.*, 7 (4), pp. 197-208, 1996.

[41] Valero, M.F., Pulido, J.E., Ramírez, Á. and Cheng, Z., IPNs of polyurethane from Pentaerythritol-Modified castor oil and polystyrene, *J Am Oil Chem Soc.*, 86 (4), pp. 383-392, 2009.

[42] Ardila, L., Estupiñán, H., Vásquez, C. y Peña, D., Estudio de la biodegradación hidrolítica de recubrimientos de biopolímeros/cerámico, *Revista de Ingeniería*, (35), pp. 41-46, 2011.

[43] Estupiñán, H., Laverde, D., Peña, D. y Vásquez, C., Comportamiento electroquímico de un recubrimiento: Ácido poliláctico-biovidrio, en suero ringer, *Scientia et Technica*, 4 (36), pp. 261-265, 2007.

[44] Weng, Y.X., Jin, Y.J., Meng, Q.Y., Wang, L., Zhang, M. and Wang, Y.Z., Biodegradation behavior of (PBAT),

(PLA), and their blend under soil conditions, *Polym Test.*, 32 (5), pp. 918-926, 2013.

[45] Rasal, R.M., Janorkar, A.V. and Hirt, D.E. Poly(lactic acid) modifications, *Progress in Polymer Science*, 35 (3), pp. 338-356, 2010.

[46] Neira, AP. L., *Trabajo revisión bibliográfica biopolímeros: Poliésteres*. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, P. 34, 2010.

[47] Mutlu, H. and Meier, M., Castor oil as a renewable resource for the chemical industry, *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112 (1), pp. 10-30, 2010.

[48] Lim, L., Auras, R. and Rubino, M., Processing technologies for poly(lactic acid), *Progress in Polymer Science*, 33 (8), pp. 820-852, 2008.

[49] Gupta, B., Revagade, N. and Hilborn, J., Poly (lactic acid) fiber: An overview, *Progress in polymer science*, 32 (4), pp. 455-482, 2007.

[50] Wang, B., Sharma-Shivappa, R., Olson, J. and Khan, S., Production of (PHB) by *Alcaligenes latus* using sugarbeet juice, *Industrial Crops and Products*, 43 (0), pp. 802-811, 2013.

[51] Chatzidoukas, C., Penloglou, G. and Kiparissides, C. dynamic model for the production of (PHB) in *azohydromonas lata* cultures, *Biochem Eng J.*, 71 (0), pp. 72-80, 2013.

Lectura 17: Aqua miente: la vida en plástico no es tan fantástica

Ficha de referencia

Reyna, P. A. (2020) La vida en plástico no es tan fantástica, *Cienciorama* 632, DGDCUNAM, p. 1-10.

Disponible en

http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/632_cienciorama.pdf

Sinopsis

El artículo expone la problemática ambiental que ha generado el uso indiscriminado de los plásticos y presenta también una lista de los plásticos más usados y una alternativa para disminuir su uso a través del reciclado con base en su código.

Ubicación en el programa

Unidad 2. El estudio de los polímeros y su impacto en la actualidad.

Aprendizaje: A10. (H, V) Argumenta la necesidad de hacer un uso responsable de los materiales poliméricos sintéticos, al indagar en fuentes documentales su código de identificación y los métodos de reciclaje. (N2).

Justificación. El contenido del artículo atiende parcialmente el propósito de la unidad el cual señala que el alumno reconocerá la necesidad de participar en la solución del problema de contaminación ambiental por el desecho de materiales poliméricos, a partir del trabajo en equipo y mediante la investigación documental y experimental.

Descripción de la actividad

1. Solicitar a los alumnos que elaboren una lista de 10 objetos de plástico comunes en el hogar y 10 que usen en la escuela. Indicar que sus materiales tengan el triángulo con su código para reciclarlo.
2. De esos 20 materiales elegidos, que elaboren una tabla en la que identifiquen su código para reciclar.
3. A partir de la información obtenida de sus plásticos en el ámbito escolar, pedirle a los alumnos que elaboren, en equipo de cuatro personas, un folleto que puedan compartir con sus compañeros que incluya:
 - a) Nombres de los integrantes del equipo, grupo, título atractivo,
 - b) El nombre o nombres del plástico que más abunda(n) en el Plantel, esta información la pueden obtener

- analizando los plásticos que más consideraron los alumnos,
- c) Propiedades de esos materiales (ventajas y desventajas),
 - d) Datos de cuánto se desecha en el País de ese o de esos plásticos,
 - e) Una estimación de la cantidad que se genera por día, semana, mes y año en el plantel,
 - f) Propuesta para disminuir su uso,
 - g) Fuentes de información en formato APA.
4. De la información sobre los plásticos en el hogar, que redacten una reflexión sobre el uso de éstos.

Nota para el profesor

Se sugiere que la actividad a y b se realice individualmente y a partir de ésta construyan el folleto y se recomienda que en una sesión, cada equipo destine 5 minutos para presentarlo.



Aqua miente: la vida en plástico no es tan fantástica

Antonio Reyna Pérez

Resumen

A pesar de lo normal que nos parece estar rodeados de plásticos, estos materiales comenzaron a producirse en gran escala en la década de 1950 y en la actualidad los encontramos en todos lados, hay desde materiales para la construcción hasta equipo médico. También están presentes en los océanos, en los polos, [probablemente en nuestros pulmones](#), dentro de cadáveres de animales e incluso [en las bebidas y comida que ingerimos](#).

Palabras clave: plástico, contaminación, microplástico, isla de basura, plásticos de un solo uso.

Los plásticos en pocas palabras

Los plásticos son una familia de cientos de materiales diferentes con una gran variedad de propiedades y aplicaciones. Todos ellos están conformados por cadenas muy largas de un solo tipo de molécula que se repite muchas veces,

todas enlazadas entre sí; por lo que se llaman *polímeros*. Este característico arreglo de las moléculas hace que presenten propiedades excepcionales: son moldeables, livianos, tienen alta vida útil y son muy baratos de producir. Por ello es que se utilizan en muchas áreas.

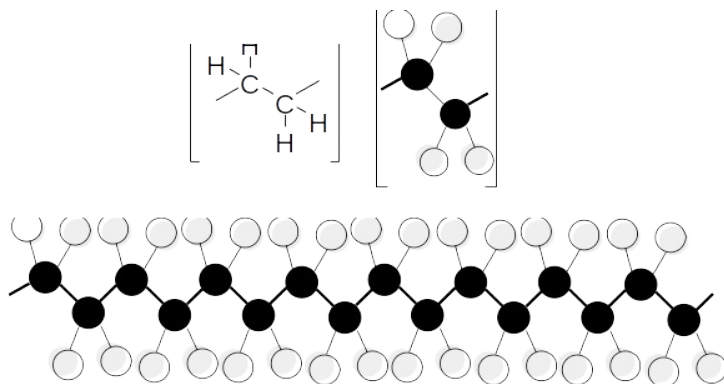


Figura 1.- Ejemplo de polímero. Arriba: representación de la estructura del etileno (monómero del polietileno), abajo: representación de la estructura del polietileno.

Una de las grandes ventajas de los plásticos es que no se degradan fácilmente por estar a la intemperie; desgraciadamente esto también causa un gran problema: no se biodegradan y se acumulan en los tiraderos o al aire libre. En el mejor de los casos, se descomponen con la radiación UV en pequeños fragmentos llamados microplásticos, los cuales no se descomponen más ni son aprovechados por los microorganismos, como otros materiales.

Hasta ahora, la única forma de eliminar permanentemente los plásticos es quemándolos a altas temperaturas. Aunque esta medida provoca la emisión de gases de efecto invernadero y de sustancias altamente tóxicas [como las dioxinas](#).

Seis plásticos capitales

Seguro habrás notado que en la base de muchos artículos de plástico como las botellas de refresco, aparece el triángulo de reciclaje con un número en su interior. Esos números indican el tipo de plástico usado para su fabricación, en la tabla 1 te presento algunas de las aplicaciones más comunes para los seis tipos de plásticos principales.

Tabla 1. Algunas aplicaciones de los seis plásticos más comunes.

Número	Plástico	Aplicaciones
1	Tereftalato de Polietileno (PET o PETE)	Envases de bebidas
2	Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)	Envases de cosméticos, de artículos de cuidado personal, de limpieza y de alimentos.
3	Policloruro de Vinilo (V o PVC)	Tuberías, instalaciones eléctrica y empaques
4	Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)	Bolsas desechables y películas para envolver alimentos
5	Polipropileno (PP)	Contenedores de comida y medicinas
6	Poliestireno (PS)	Charolas para comida y contenedores de unigel.

*Figura 2.- Algunos ejemplos de artículos hechos con los seis plásticos más comunes.*

Hay una gran variedad de plásticos, pero sólo se enumeran 6 tipos porque son los que dominan el mercado. [Acá puedes revisar otros tipos de plástico que se producen y cuáles son sus aplicaciones.](#)

A pesar de que presentan el triángulo de reciclaje, no todos los plásticos se reciclan en realidad. [Se estima que sólo el 9%](#) de las más de 8,000 millones de toneladas producidas en todo el mundo desde la década de 1950 ha sido reciclado; el 12% ha sido incinerado y el 79% restante (más de 6,000 millones de toneladas) se ha acumulado en tiraderos, rellenos sanitarios o al aire libre.

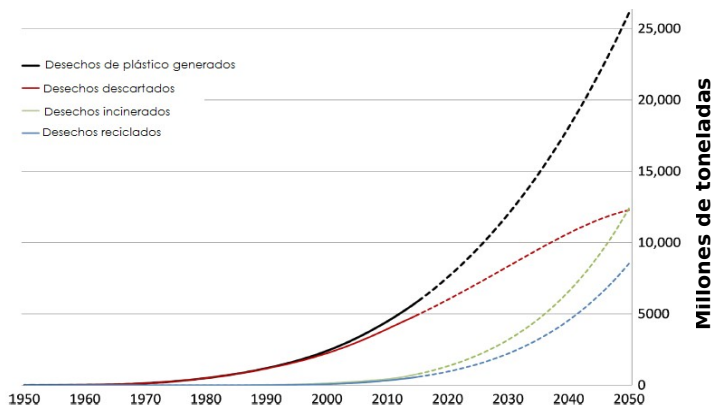


Figura 3. Generación y disposición de plásticos. Las líneas sólidas presentan los datos históricos desde 1950 hasta el 2015, las líneas punteadas muestran las proyecciones al 2050 (Modificado de Geyer et al, 2017).

El PET es el plástico que más se recicla, aunque no todo. Las versiones duras del polietileno (PEAD o HDPE) son reciclables en la mayoría de los sitios, pero las bolsas no. En algunos sitios se reciclan contenedores de PVC o PP. El reciclaje de poliestireno (PS) es muy costoso y por lo tanto no se lleva a cabo.

Plásticos chiquititos

A los plásticos de tamaño menor de 5 mm, menos que la longitud de un grano de arroz, se les denomina *microplásticos*, pero hay mucho más pequeños. Los microplásticos se consideran la mayor amenaza a los ambientes marinos de todo el mundo, pues una vez que llegan a los mares y océanos son fácilmente transportados por las corrientes marinas. Están presentes en todas las costas del planeta, incluso en los polos y mares profundos. Todavía no se conocen a profundidad las consecuencias ambientales de la contaminación por microplásticos, pero se ha registrado su ingesta en muchos animales marinos. [En un estudio donde se analizó la presencia de estos contaminantes en peces provenientes de tres ecorregiones de México](#), el Golfo de California, el Golfo de

México y el Mar Caribe, se encontró que 152 de los 755 animales estudiados, es decir el 20%, tenían microplásticos en sus estómagos; los peces provenientes de la costa de Veracruz fueron los más afectados.

Los microplásticos se producen principalmente por la emisión de pequeñas partículas en la producción de los plásticos o por la descomposición de estos materiales a la intemperie. Y no sólo los ingieren los animales marinos, también nosotros. [En un estudio realizado por la Universidad Estatal de Nueva York](#) se encontró la presencia de microplásticos en 93% de las muestras de agua embotellada de 11 marcas distintas tomadas de 9 países, incluido México. Los autores sugieren que la fuente no sólo es el proceso de embotellamiento sino las tapas de las botellas y que el simple hecho de destaparlas podría haber generado gran parte de la contaminación encontrada. Otro estudio sobre la ingesta de microplásticos [en alimentos consumidos por el estadounidense promedio](#), reveló la presencia de estas partículas en sal de mesa, cerveza, pescados, mariscos, crustáceos, azúcar y miel. Los productos del mar fueron los que presentaron mayor concentración de estos contaminantes.

Aunque la Organización Mundial de la Salud indica [que por ahora la presencia de microplásticos en el agua de beber no supone un riesgo para la salud](#), se cree que el consumo prolongado de microplásticos podría provocar desde daño fisiológico hasta cáncer. Esto sin considerar la toxicidad de los componentes de estos materiales o de otros contaminantes adheridos a ellos, pues los microplásticos pueden servir de medio de transporte a otros contaminantes.

El continente de plástico

Los plásticos están en todas partes, tanto que ha sido sugerido utilizarlos como indicador geológico para la era propuesta como *Antropoceno* (ver en Cienciorama "[Bienvenidos al Antropoceno](#)"). [Se estima que en el año 2010](#) entraron a los océanos entre 5.3 y 14 millones de toneladas de desechos plásticos provenientes de 192 países costeros, lo que representó entre el 13 y el 35% de todos los desechos plásticos generados ese año en esos países. Con estos datos se predice que para 2050 habrá alrededor de 90 millones de toneladas de plástico en los océanos, en el mejor de los casos.

Aunque todos estas cifras son extrapolaciones de los pocos datos con los que se cuenta, [una limitación que se pretende resolver con el uso de satélites](#), son

cuando menos alarmantes. Y como una imagen dice más que mil palabras o más que unos datos extrapolados, ahí va la del nuevo continente de basura, principalmente de plásticos:

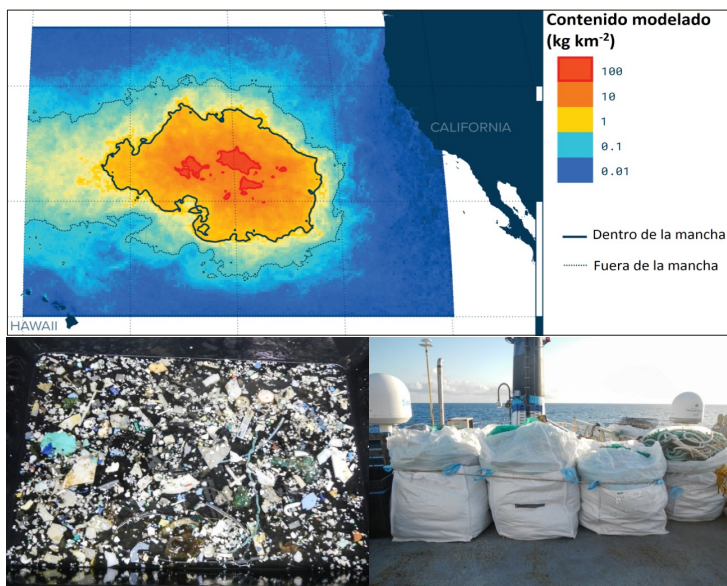


Figura 4. Arriba: modelo del contenido de plásticos en la gran mancha de basura del Pacífico; abajo: muestras recolectadas por la expedición del equipo de [The Ocean Cleanup](#) en el año 2015.

Esta isla de basura se encuentra en el centro del Océano Pacífico Norte y se conoce como la gran mancha de basura del Pacífico. [En un estudio de 2018](#) se estimó que habían entre 45 y 129,000 toneladas de residuos plásticos en esa mancha, en un área de 1.6 millones de kilómetros cuadrados, [casi tres veces el tamaño de Francia](#). Además, se sugiere que los residuos plásticos de esa mancha aumentan exponencialmente.

Si lo anterior no te pareció suficientemente asombroso y espantoso, debes de saber que esa mancha no es la única en los océanos del mundo. Estas manchas se forman cuando las corrientes oceánicas [llamadas giros oceánicos](#), arrastran residuos hacia el centro de los océanos donde se acumulan Hay 5 giros oceánicos:

uno en el Índico, dos en el Atlántico y dos en el Océano Pacífico, cada uno con su mancha de basura.

La descomposición de los plásticos en los océanos es más lenta porque en ellos hay una menor temperatura y exposición a la radiación UV que en tierra adentro. Por ello la gran mayoría de estos desechos se mantienen íntegros por largos periodos, lo que afecta a la vida marina.

Muchos animales grandes como mamíferos marinos, aves o reptiles, consumen bolsas o tapas de plástico porque las confunden con presas. Además, dichos materiales pueden atrapar, lastimar o incluso matar a muchas especies marinas. Existen muchos casos famosos, como el de los albatros, imagen de portada de este escrito, [la tortuga Peanut](#) que sufrió una malformación en su caparazón tras atascarse en un aro de six pack, el impactante vídeo donde remueven un popote de la fosa nasal de una tortuga o recientemente las imágenes de [la tortuga muerta atrapada en un hilo de pescar](#). Pero no todos los casos alcanzan nuestras pantallas de celular o computadora.

La ilusión de lo desechable

Los artículos desechables se popularizaron bajo la promesa de una vida más fácil sin necesidad de cargar, cocinar o lavar. Muchos de los plásticos que se generan todos los días están destinados a tirarse después de un solo uso, por ello se les llama desechables. Dentro de esta categoría podemos mencionar envases de alimentos, bolsas de supermercado, cápsulas de café, rastrillos y un larguísimo etcétera.

Y aunque los plásticos tienen muchas aplicaciones, su empleo más común es como empaques de un solo uso. [En 2015 se estimó](#) que la producción mundial de plásticos fue de 407 millones de toneladas, de las cuales 146, equivalente al 36% de toda la producción de ese año, se destinó exclusivamente a empaques con una vida útil de aproximadamente un año.

[En un reporte de 2017 sobre la limpieza de costas](#) se encontró que de los 10 desechos más comunes encontrados en ellas, 8 eran artículos de plástico de un solo uso: botellas de bebidas, tapas de botellas, envoltorios de comida, bolsas de supermercado, tapas de plástico, popotes, otro tipo de bolsas de plástico y

contenedores de unicel. Los residuos plásticos hallados tierra adentro son similares.

Se estima que en México en 2016 [se produjeron 4.7 millones de toneladas de desechos plásticos](#). En ese mismo año se recuperaron 103,450 toneladas de PET y otros plásticos, lo que significa que casi el 98% de la basura plástica terminó en rellenos sanitarios o tiraderos. Y si bien ocupamos estos artículos por muy poco tiempo, persisten en el ambiente muchos años. No importa que los tiremos y ya no los veamos, ahí siguen.

Por esta razón en México se han implementado campañas para disminuir el consumo plástico de un solo uso como los popotes en 2018 y recientemente la prohibición de bolsas en la Ciudad de México. Estas medidas están encaminadas a que en el año 2021 en la CDMX [no exista comercialización, distribución y entrega de todo tipo de plásticos de un solo uso](#).

El problema del plástico no es él, somos nosotros

Si bien las medidas tomadas recientemente por el gobierno mexicano pueden generar controversia, responden a estrategias internacionales exitosas que pretenden ser un [punto de inicio para la futura regulación de una gama más amplia de plásticos de un solo uso](#). Hay que empezar en algún sitio. Además, estas medidas son exitosas. El pasado 27 de febrero la titular de la Secretaría del Medio Ambiente de la CDMX (Sedema) [informó, con base en un primera estimación, que se ha reducido en un 70% la circulación de bolsas desechables](#). Si eres tan escéptico como yo a los reportes oficiales de nuestro gobierno, hay que voltear a ver los casos exitosos en otros países. Por ejemplo, en 2002 en Irlanda se impuso un impuesto a los consumidores de bolsas de plástico y después de un año de haber implementado la medida, se redujo el consumo de esos artículos en más del 90%. Y aunque las bolsas desechables de plástico representan alrededor del 1% de toda la basura plástica, de alguna forma se debe cambiar la mentalidad de los consumidores.

Y no es que yo sea defensor de medidas paternalistas por parte de los gobiernos, pero en [un país como el nuestro donde el 78% de la población no tiene interés en el medio ambiente](#), parece necesario tomar medidas prohibitivas o punitivas para concientizar y educar a la población. Por este motivo me atrevo a decir que el

principal problema de los plásticos en el ambiente somos nosotros, cómo los utilizamos.

Claro que la presencia de plásticos en el medio ambiente se debe a sistemas de gestión de residuos deficientes o hasta incompetentes, y que gran parte de la responsabilidad de la circulación de plásticos de un solo uso es de las industrias que utilizan grandes cantidades de estos materiales para el empaquetamiento de sus productos. Además, los plásticos presentan más problemas –lo que es harina de otro artículo– que la cantidad en que se desechan, por ejemplo la toxicidad de sus aditivos.

La forma ideal de enfrentar este problema requiere de la participación de consumidores, fabricantes y gobierno, para generar [un sistema de economía circular alrededor de los plásticos](#) que maximice su valor y reduzca o elimine los desechos. Además, es necesaria la popularización de alternativas al uso de plásticos desechables sin tener que recurrir a soluciones que podrían generar mayores problemas, [como el uso irresponsable de bolsas de papel](#), ya que el objetivo no es llenarnos de basura ecológica.

No creo que nadie pueda resolver individualmente este problema, pero tampoco podemos esperar a que se resuelva. Podemos tomar mejores decisiones en nuestras compras y contribuir a la disminución de desechos plásticos y ejercer presión al gobierno y a la industria para que tomen mejores medidas.

No se trata de satanizar los plásticos [pues resultan muy útiles](#), es cuestión de usarlos de forma responsable. Intenta cocinar más en casa, en medida de lo posible no compres bebidas embotelladas ni comida congelada, obtener productos a granel, llevar tu taza o termo para el café, reutilizar contenedores y evitar el uso de popotes, cubiertos y platos desechables. También llevar una bolsa reutilizable para el mandado, después de todo [en una bolsa de plástico no cabe el mar](#).

Ligas de posible interés:

- [Resumen sobre los plásticos y su impacto en ambientes marinos.](#)
- [Episodio de podcast sobre el ciclo de vida de productos como el plástico y papel.](#)
- [Plática de la Dra. Yara Almanza sobre los mitos y realidades de los plásticos.](#)
- [Hoja informativa de la ONU sobre las directrices para diseñadores de políticas en materia de plásticos de un solo uso.](#)
- [Página de memes sobre educación ambiental.](#)

Créditos de imágenes:

- Portada: Chis Jordan.
- <http://www.chrisjordan.com/gallery/midway/#CF000313%2018x24> =
- Figuras 1 y 2: Creación propia con ChemBioDraw Ultra 13.0.
- Figura 3: Modificado de Geyer et al., 2017.
- Figura 4: Tomadas de The Ocean Cleanup.

(<https://theoceancleanup.com/media-gallery/>)

Sitios de internet:

- Ocean Portal Team (2018). Marine plastics. Recuperado de: <https://ocean.si.edu/conservation/pollution/marine-plastics>.
- Marine Debris Program (2018). Garbage Patches. Recuperado de: <https://marinedebris.noaa.gov/info/patch.html>.

Bibliografía avanzada:

- Crawford, B. C. y Quinn B. (2017). *Microplastic pollutants*. (1ª ed.). Elsevier Science.
- Cox, K. D., Covernton G. A., Davies, H. L., Dower, J. F., Juanes, F. y Dudas S. E. (2019). Human consumption of microplastics. *Environ. Sci. Technol.* 53, 7068-7074.
- Geyer R., Jambeck, J. R. y Lavender Law K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv* 3, e1700782.
- Greenpeace. (2019). Estudio sobre el impacto de la contaminación por microplásticos en peces de México. Recuperado de: <https://www.greenpeace.org/mexico/publicacion/3377/estudio-sobre-el-impacto-de-la-contaminacion-por-microplasticos-en-peces-de-mexico/>.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R. y Law K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768-771.
- Laskar N. y Kumar U. (2019). Plastics and microplastics: A threat to environment. *Environ Technol Inno*, 14, 100352.
- Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R. y Reisser J. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci. Rep.* 8, 4666.
- Mason, S. A., Welch, V. G. y Neratko J. (2018). Synthetic Polymer Contamination in Bottled Water. *Front. Chem.* 6:4007.
- ONU Medio Ambiente. (2018). PLÁSTICOS DE UN SOLO USO: Una hoja de ruta para la sostenibilidad. Recuperado de: <https://www.unenvironment.org/es/resources/informe/plasticos-de-un-solo-uso-una-hoja-de-ruta-para-la-sostenibilidad>



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**Dr. Enrique Graue Wiechers
RECTOR**

**Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
SECRETARIO GENERAL**

**Dr. Alfredo Sánchez Castañeda
ABOGADO GENERAL**

**Dr. Luis Álvarez Icaza Longoria
SECRETARIO ADMINISTRATIVO**

**Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda
SECRETARIA DE DESARROLLO INSTITUCIONAL**

**Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo
SECRETARIO DE PREVENCIÓN
Y SEGURIDAD UNIVERSITARIA**

**Mtro. Néstor Martínez Cristo
DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN SOCIAL**



ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

Dr. Benjamín Barajas Sánchez
DIRECTOR GENERAL

Mtra. Silvia Velasco Ruiz
SECRETARIA GENERAL

Lic. María Elena Juárez Sánchez
SECRETARIA ACADÉMICA

Lic. Rocío Carrillo Camargo
SECRETARIA ADMINISTRATIVA

Mtra. Patricia García Pavón
SECRETARIA DE SERVICIOS
DE APOYO AL APRENDIZAJE

Lic. Miguel Ortega del Valle
SECRETARIO DE PLANEACIÓN

Lic. Mayra Monsalvo Carmona
SECRETARIA ESTUDIANTEL

Lic. Gema Góngora Jaramillo
SECRETARIA DE PROGRAMAS INSTITUCIONALES

Lic. Héctor Baca Espinoza
SECRETARIO DE COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL

Ing. Armando Rodríguez Arguijo
SECRETARIO DE INFORMÁTICA

UNAM | CCH

