

# TECNOCULTURA

Investigación · Ciencia · Tecnología · Cultura

Año 3, N° 8, septiembre-diciembre del 2004



## Nemátodos entomopatógenos

I. Biología y ciclo de vida

Mitos y realidades de la fibra dietética

Los Polímeros sintéticos llegaron para quedarse:

satisfactores imprescindibles de nuestro modo de vida

Plantas utilizadas como biorreactores para producir biomolécula y remover compuestos tóxicos

# Editorial



No cabe duda que el ritmo creciente y acelerado de las actividades científicas y tecnológicas, han influido en el desarrollo de la sociedad contemporánea, modificado la manera de vivir y convivir de los pueblos, las formas de comunicación, los modos de pensar y de actuar, e incluso, en algunos casos, transformado las costumbres, tradiciones y creencias, con su inevitable impacto en la propia cultura.

En este contexto, el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec (TESE) desde su origen, ha tenido como parte de su misión, promover el conocimiento y la cultura nacional y universal, especialmente la de carácter tecnológico; de ahí la relevancia de editar una revista con el fin de difundir los avances de la investigación y el desarrollo científico en este ámbito, en el contexto de su influencia sobre la sociedad y en la cultura, considerando también los aspectos históricos y filosóficos, así como estudios prospectivos orientados a visualizar el futuro viable y sustentable de nuestro planeta. El objetivo es propiciar la reflexión en que el progreso económico y social depende en cierta medida del uso racional de la producción científica y tecnológica, tanto nacional como la generada a escala mundial. Es por ello que en el año 2002 surge la revista *Tecnocultura*, como un foro abierto a la expresión y como un medio para difundir el quehacer de los docentes e investigadores del TESE y de otras instituciones afines.

Para iniciar la publicación de la revista *Tecnocultura* se contó con el respaldo de un Consejo Editorial integrado por destacados académicos e investigadores de diferentes disciplinas, orígenes y orientaciones filosóficas. Uno de ellos fue el Dr. Manuel Méndez Nonell, Director Adjunto de Ciencia del CONACYT, fallecido recientemente y a quien dedicamos este número como tributo al incondicional apoyo y confianza que otorgó al TESE para realizar esta publicación.

La trayectoria del Dr. Méndez Nonell, constituye un ejemplo de la entrega apasionada por su ámbito de estudio, que fue la ingeniería química metalúrgica, pues con tan sólo 27 años de edad, obtuvo el doctorado en Metalurgia, en la Universidad Sheffield, Inglaterra, y posteriormente se enfocó a la investigación sobre el tratamiento del metal líquido en los procesos de solidificación. Como docente, contribuyó a la formación de estudiantes en las principales universidades del país como la UNAM y el IPN.

De igual forma desempeñó importantes cargos en prestigiadas instituciones, como el CINVESTAV, del IPN, en donde fue fundador y director de la Unidad Saltillo, Secretario Académico y Secretario de Planeación (1999-2000); y también en el CONACYT, en donde ocupó diversos puestos directivos desde el 2001. Recibió numerosos reconocimientos y escribió más de 70 artículos de divulgación científica.

Esta es en verdad una lamentable pérdida para la ingeniería mexicana, sin embargo, su legado de trabajo, dedicación y colaboración entusiasta, permanece y será fuente de inspiración para muchas generaciones de investigadores.

## DIRECTORIO



### GOBIERNO DEL ESTADO DE MÉXICO

LIC. ARTURO MONTIEL ROJAS  
Gobernador Constitucional  
del Estado de México

ING. AGUSTÍN GASCA PLIEGO  
Secretario de Educación, Cultura y  
Bienestar Social del Estado de México

M. EN C. CARLOS LEÓN HINOJOSA  
Subsecretario de Educación  
Media Superior y Superior



### AUTORIDADES DEL TESE

M. EN A. URIEL GALICIA HERNÁNDEZ  
Director General

M.C. ALFONSO MARTÍNEZ REYES  
Director de Administración y Finanzas

C. P. MARÍA EUGENIA  
BÁTIZ Y SOLÓRZANO  
Directora Académica

ING. ÁLVARO GÓMEZ CARMONA  
Director de Apoyo  
y Desarrollo Académico

M. EN C. MARIO QUEZADA ARAGONEZ  
Director de Vinculación y Extensión

LIC. JAVIER VILLEGAS ALTAMIRANO  
Abogado General

LIC. REYNALDO MONTÚFAR OCHOA  
Contralor Interno

### CONSEJO EDITORIAL

DR. ADOLFO GUZMÁN ARENAS

DR. JUAN JOSÉ SALDAÑA

DR. FELICIANO SÁNCHEZ SINENCIO

DR. MANUEL MENDEZ NONELL

### TECNOCULTURA REVISTA TECNOCULTURA

#### Editor

Lic. María Isabel Arroyo Pérez

#### Corrección de estilo

Lic. Rafael Ortiz Hernández

#### Diseño y formación

L.D. Fernando Rubio Orozco

# Contenido

## En portada



Insecto

**Tecnocultura**, revista de divulgación del conocimiento científico, tecnológico y humanístico del Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Año 3, No. 8, septiembre-diciembre 2004. Número de autorización del Comité Editorial de la Administración Pública Estatal A: 205/4/01/04/3. Edita y distribuye la Unidad de Relaciones Públicas y Difusión, domicilio: Av. Tecnológico (antes Valle del mayo) s/n, Col. Valle de Anáhuac, C.P. 55210, Ecatepec, Estado de México. Teléfono y Fax: 5710-4560. Correo electrónico: [difusion@tese.edu.mx](mailto:difusion@tese.edu.mx). Impreso en febrero de 2005. Imprenta: Huazo Impresores, domicilio: Texcoco Mz. 513, Lote 38, No. 76, Cd. Azteca, Ecatepec, Estado de México. Número de Reserva al Título de Derechos de Autor: 04-2004-101417135700-102. Se imprimen 1000 ejemplares. Se autoriza la reproducción total o parcial del material publicado en Tecnocultura, siempre y cuando cite la fuente. Los artículos son responsabilidad de los autores.

<http://tecnocultura.tese.edu.mx>



Los Polímeros sintéticos llegaron para quedarse: satisfactores imprescindibles de nuestro modo de vida

4



Células vegetales: biorreactores para diseñar y producir biomoléculas y remover compuestos tóxicos

9



14

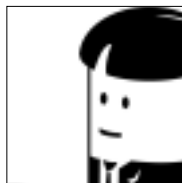


Mitos y realidades de la fibra dietética

Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos para la producción de enzimas ligninolíticas de elevado potencial biotecnológico



22



19

El trabajo del político de empresa y sus procedimientos



Avances en el uso del Sol-Gel como material para inmovilizar sistemas biológicos

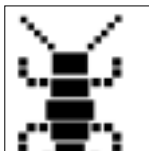
28

32



Incremento de la biodegradación de hidrocarburos por extracción con solventes en un sistema de suelo en suspensión

36



Nemátodos entomopatógenos. I. Biología y ciclo de vida

27

In memoriam  
Dr. Manuel Méndez Nonell



3a

Tecnohumor

# Los Polímeros sintéticos llegaron para quedarse: satisfactores imprescindibles de nuestro modo de vida

José Antonio Arcos Casarrubias\*

**E** **Perspectiva industrial de los polímeros** en la industria de procesos, aproximadamente el 95% de la venta de polímeros sintéticos corresponden a productos que fueron introducidos hace más de 35 años. Nuevos materiales han comenzado a comercializarse, pero desde el punto de vista de las ventas, no serán significativos en tanto no cumplan con características que les confieran propiedades verdaderamente innovadoras, tal y como sucedió con el Nylon (una poliamida) o el Teflón (un fluoropolímero). En este sentido, el desarrollo de materiales con propiedades deseables y controladas, como son la distribución de pesos moleculares, la polidispersidad (qué tan ancha es la distribución), la composición, los grupos funcionales y la arquitectura de la molécula, están en plena consolidación; además, estos nuevos materiales deberán presentar morfología en el orden de los nanómetros. Lo anterior está siendo posible debido a un método novedoso de síntesis de homopolímeros, y particularmente de copolímeros, llamado polimerización mediante radical libre controlada o viviente.<sup>1,2</sup> También, los polímeros conductores intrínsecos de la electricidad, como la polianilina y el polipirrol, entre otros, presentan potencial para modificar la tecnología de los semiconductores; actualmente, mucho es lo que se está investigando acerca de su síntesis en un medio disperso.



Entre los métodos de síntesis de polímeros, está la polimerización vía radical libre (una especie química con electrón desapareado), que es muy significativa, tanto en términos de volumen de producción como en dividendos económicos. Como ejemplo de los primeros, sólo se mencionarán algunos de los polímeros más importantes: el polietileno, el poliestireno, el cloruro de polivinilo, el acetato de polivinilo, la familia de los poliacrílicos y los fluoropolímeros (todos ellos denominados genéricamente como monómeros vinílicos) y las poliacrilamidas. Estos polímeros y sus copolímeros se usan en un amplio tipo de aplicaciones, que abarcan desde vidrios, recubrimientos protectores, bases de pinturas, adhesivos, botellas y películas plásticas, productos para el acabado de pieles y sucedáneo de piel, ceras para pisos, bajo-alfombras, placas de impresión, modificador de la viscosidad, dispersantes, floculantes, en tratamiento de agua, en fibras textiles y en su tratamiento, gel para electroforesis, aditivos del cemento, estabilizadores de suelos, fijador en aerosol para el cabello, resinas de intercambio iónico, entre otras áreas en continuo crecimiento.

Dentro de los segundos, existe una producción de polímeros cuyas características de aplicación los agrupan en plásticos de ingeniería o especialidades, como es el copolímero de acrilonitrilo y estireno, conocido como resina SAN, y el terpolímero de acrilonitrilo, butadieno y estireno o ABS (por sus siglas en inglés); son productos que resisten los disolventes y son fácilmente moldeables para la elaboración de piezas, por ejemplo de autopartes. También, son la base para la fabricación de plásticos reforzados de alto desempeño, usados en la industria aeroespacial.

### **Método de síntesis mediante radical libre**

La importancia industrial que la polimerización vía radical libre presenta, es contundente, dada su utilización masiva;

no obstante, aún quedan aspectos cinéticos y de fenómenos de transporte por dilucidar, y por supuesto, situaciones de ingeniería de reactores de polimerización por entender, optimizar y controlar.

Para el propósito de obtener un producto con propiedades específicas, es imprescindible el manejo de los procesos que cesan el crecimiento de la cadena polimérica, a partir de principios científicos y no sólo del conocimiento empírico. En este sentido, actualmente se está trabajando en la dirección de esclarecer las cinéticas de polimerización, particularmente orientadas hacia la reacción de terminación.<sup>3</sup> Dado que esta reacción no puede ser totalmente suprimida, sí es posible, en cambio, disminuir su intervención hasta el punto que su efecto sobre las propiedades del polímero sean marginales, por lo tanto, es ineludible el entendimiento básico de los mecanismos que ocasionan la cesantía del crecimiento de la cadena, principalmente los relativos a la terminación bimolecular.

En la introducción del artículo de revisión, publicado, en el 2002 por Beuermann y Buback,<sup>4</sup> se estipula: "no obstante la enorme importancia técnica de la polimerización vía radical libre, la comprensión minuciosa de las cinéticas de polimerización todavía están incompletas". Ahí mismo se dice también que para muchas reacciones de polimerización, las constantes de rapidez de los procesos de propagación de la reacción y de terminación no se han determinado en forma precisa.

Lo expresado tiene sustento en la inspección efectuada a la tercera edición del Manual de los Polímeros, de Brandup e Immergut,<sup>5</sup> publicada en 1989, en donde se puede observar una dispersión muy grande de los valores tabulados de las constantes de rapidez, aun para sistemas de polimerización cuyas condiciones de reacción son ostensiblemente idénticas (este artículo recapitula sobre las publicaciones que han aparecido impresas hasta diciem-

### Acerca del autor...

\*Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa. Actualmente se desempeña como profesor investigador en el Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec. Su trabajo de investigación lo lleva a cabo en el Laboratorio de Procesos Químicos, del edificio "J", adscrito a la División de Ingeniería Química y Bioquímica, y su línea de investigación son los procesos de polimerización.

bre de 2000 en las diferentes revistas técnicas relativas al campo).

Recíprocamente, el disponer de los valores de las constantes de rapidez tiene, finalmente, un sentido práctico, pues permite describir la distribución de pesos moleculares de los polímeros; asimismo, hace factible la simulación (representar el comportamiento dinámico del sistema de polimerización mediante las ecuaciones diferenciales que lo modelan) y, en consecuencia, se pueden escoger las condiciones de reacción óptimas para conseguir una distribución de pesos moleculares que demanda la aplicación del producto final y, el tipo de reactor para la producción.

fenómeno es importante para la producción y el control de procesos de polimerización mediante radical libre, así como para el desarrollo de procesos novedosos.

La evidencia experimental de la presencia del efecto gel, se detecta en la gráfica de conversión de monómero contra tiempo, en la forma de un repentino aumento de la pendiente (puesto que ésta representa la rapidez de polimerización). En conversión baja, la pendiente es prácticamente constante, y su magnitud depende del tipo de monómero, la concentración del iniciador de la reacción y la temperatura.

Con el avance de la reacción, se llega a un valor de conversión en el cual la pendiente comienza a aumentar de magnitud hasta llegar a un máximo, para luego descender y llegar a cero. Este aumento en la rapidez de polimerización conduce, generalmente, a aumentar la temperatura, lo cual, a su vez, conlleva a incrementar la rapidez de conversión, lo que también origina mayor temperatura, y así sucesivamente. El ciclo se interrumpe cuando el monómero se agota o cuando ya no está disponible para continuar la reacción, debido a las restricciones físicas que impone la elevadísima viscosidad del medio. Por lo tanto, durante el efecto gel, la magnitud de la pendiente de conversión contra tiempo, depende de la efectividad con que se transfiera la energía térmica desde el medio de reacción hacia el exterior.

La figura 1 muestra la conversión porcentual de metacrilato de metilo en función del tiempo, para diferentes experimentos, obtenida mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC). Se puede apreciar que los experimentos realizados a temperatura más alta tienen un tiempo de reacción menor, que la rapidez de reacción a tiempos cortos es constante y que aumenta su valor en función del incremento de la temperatura. También, que para un cierto tiempo de reacción, la rapidez aumenta súbitamente, lo cual es un re-

### Comportamiento fenomenológico de los monómeros vinílicos

Los monómeros vinílicos exhiben un comportamiento funesto en el proceso de polimerización mediante radical libre, conocido como efecto gel o "Trommsdorff" o "Norrish-Smith", el cual se manifiesta en la autoaceleración de la rapidez de polimerización durante el intervalo de conversión, comprendido desde la región intermedia a la alta. Este fenómeno puede conducir a que se obtenga un producto con propiedades fuera de especificación, o que la operación del reactor se salga de control, dada la naturaleza exotérmica de la reacción, lo que conduciría a aumentar súbitamente la temperatura, pudiendo ocasionar daño en el reactor, debido al taponamiento de los conductos.

Existen varias formas de evitar la presencia de la autoaceleración y que se usan cotidianamente; una de ellas consiste en el empleo de gran cantidad de agente de transferencia de cadena, lo cual, irremediablemente lleva a producir polímero de bajo peso molecular. Otra manera es la utilización de un volumen considerable de disolvente, sin embargo, eso eleva los costos y hace riesgosa la operación del proceso. Por consiguiente, el entendimiento de este

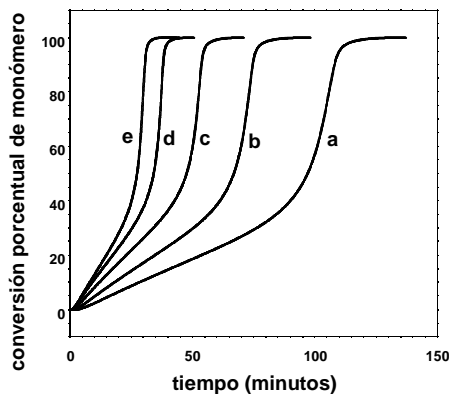


Figura 1.

Gráfica de la conversión porcentual en función del tiempo, correspondiente a la polimerización en masa de metacrilato de metilo, con 0.5% en peso de 2,2'-Azo-bis-isobutironitrilo (AIBN) usado como iniciador de radicales libres. Los experimentos se realizaron a diferentes temperaturas: (a) 60, (b) 65, (c) 70, (d) 75 y (e) 80 °C.

sultado de la presencia del efecto gel o autoaceleración.

La calorimetría diferencial de barrido mide el flujo de calor relativo que se libera durante el avance de la reacción, lo que se relaciona de manera directa con la conversión de monómero. Esta técnica permite realizar experimentos isotérmicos, debido principalmente a dos causas: la masa del monómero que se usa es pequeña, de alrededor de 10 miligramos, lo cual permite disipar la energía térmica con relativa facilidad, y la otra, se refiere a las técnicas electrónicas de control del equipo, cuya rapidez de respuesta es grande.

### **Teorías para la interpretación del efecto gel y sus limitaciones**

En el medio académico, es aceptada la descripción cualitativa de la autoaceleración característica en la rapidez de polimerización. Se postula que ésta se debe al decremento del coeficiente de terminación bimolecular,  $k_t$ , el cual, a su vez, se origina en las restricciones impuestas a la movilidad de las cadenas poliméricas por parte del aumento de la concentración de polímero, concomitante al avance de la reacción. Sin embargo, no existen modelos que posean capacidad de predicción, es decir, que relacionen la conversión de inicio del efecto gel,  $x_{crit}$ , con la temperatura, la concentración de polímero y el peso molecular. Entre las dificultades principales para conseguirlo está el hecho, sin lugar a duda, de que la causa del inicio del efecto gel no se ha podido aislar. Los diversos intentos por explicar el efecto gel se dividen en dos categorías: la descripción a través de enmarañamiento de las cadenas y la descripción mediante volumen libre; sin embargo, ninguna es adecuada para describirlo satisfactoriamente.

El supuesto de que el inicio de enmarañamiento causa el efecto gel, es inadecuado, dado que la evidencia experimental muestra que el efecto gel se puede presentar en ausencia de cadenas enmarañadas. Además, en sistemas que indudablemente

presentan enmarañamiento, el inicio del efecto gel no se correlaciona con el peso molecular, perdiendo la consistencia con los argumentos de la hipótesis del enmarañamiento.

La idea de relacionar el inicio del efecto gel con la disminución del volumen libre en el sistema, ha estado presente desde los primeros trabajos de investigación sobre el fenómeno de autoaceleración. Al avanzar la polimerización, se va formando un mayor número de macromoléculas y el medio de reacción cambia su densidad, tornándose más denso; por consiguiente, disminuye el volumen libre en el sistema y aumenta la viscosidad; por lo tanto, existe una relación inversa entre el volumen libre y la viscosidad.

Desde un punto de vista microscópico, las moléculas que constituyen al fluido, al adquirir su conformación espacial, dejan huecos entre sí, los cuales forman el volumen libre (cabe mencionar que el comportamiento del sistema es dinámico, es decir, que las moléculas, particularmente las cadenas de polímero, están cambiando continuamente su conformación en el medio y, por consiguiente, en ciertos puntos del medio se forma volumen libre y en otros desaparece: se dice que se presentan fluctuaciones en la densidad). En consecuencia, se ha buscado determinar la dependencia del aumento de la viscosidad del medio con el avance de la reacción y su relación con la disminución del volumen libre. Sin embargo, esta teoría no reproduce el comportamiento de la conversión de monómero contra tiempo en un amplio intervalo de condiciones de reacción. Dado que volumen libre no es una teoría a nivel molecular, no puede relacionar la influencia que tiene el tamaño de la cadena sobre la rapidez de terminación.

La teoría más reciente para explicar la causa del efecto gel, postula que a conversión intermedia, la terminación se establece por la reacción entre una cadena corta y otra larga. Fundamentalmente, la cadena corta es aquella que



no presenta enmarañamiento y la cadena larga está enmarañada. La rapidez de este proceso cinético está determinada por la difusión de la cadena con mayor movilidad, que evidentemente corresponde a la cadena corta. Por lo que el inicio del efecto gel estaría relacionado con la inmovilización de las cadenas cortas del sistema, representado por la disminución abrupta del coeficiente de difusión. Dado que la  $k_t$  se puede relacionar de manera directa con el coeficiente de difusión (que es una propiedad fundamental de las moléculas), esta teoría representa una idea atractiva.

Actualmente, muchos de los trabajos publicados, tanto teóricos como experimentales, están dirigidos en este sentido; así, el énfasis se ha puesto en la medición del coeficiente de difusión de las especies químicas representativas de la dinámica de los sistemas de polimerización y, en la interpretación del proceso de terminación bimolecular entre dos radicales libres.

En los sistemas de polimerización mediante radical libre, se puede identificar un evento cinético básico: la reacción entre cadenas poliméricas, que es, por lo general, un proceso irreversible. La clave para comprender la polimerización lineal, es establecer la dependencia de la rapidez de reacción entre las cadenas de polímero con la longitud de la cadena, la concentración de polímero y la reactividad de los grupos funcionales. Este asunto es uno de los motivos principales para dirigir los esfuerzos de investigación hacia el desarrollo de teorías fundamentales de las reacciones de polímero de alto peso molecular, y el establecimiento de métodos para la medición precisa de la rapidez de reacción entre cadenas de polímero.

Una aplicación posible, resultante de comprender la reacción entre cadenas de polímero con control de una etapa difusiva (reacción entre macrorradicales), está en la síntesis de copolímeros en bloque y de injerto, mediante el procesamiento reactivo y el de compatibilidad de mezclas inmiscibles (el procesamiento reactivo consiste en llevar a cabo la copolimerización de dos monómeros en el interior de un extrusor, de modo que el copolímero formado adquiere el carácter de insumo para otro proceso o de producto final. Por otra parte, dos homopolímeros diferentes en solución, termodinámicamente incompatibles, forman dos fases. La compatibilidad consiste en hacer reaccionar, a través de la interfase, a los dos homopolímeros para formar el copolímero buscado).

## Conclusión

La producción de polímeros mediante radicales libres es muy importante, a la vista de la enorme variedad de satisfactores producidos y de su volumen de ventas. Una fuente principal de problemas generados durante el proceso de producción, es el inicio del efecto gel, que con frecuencia ocasiona que las reacciones de polimerización se tornen incontrolables,

dando como resultado la elevación excesiva de la temperatura, la rápida conversión de monómero y el taponamiento del equipo. Sólo a través del conocimiento básico acerca del origen molecular que causa la autoaceleración, se pueden desarrollar estrategias para mejorar el proceso de producción de polímeros.

En este sentido, la hipótesis más reciente y con mejor perspectiva es la que se refiere a la terminación entre una cadena corta y otra larga; por consiguiente, el entendimiento del comportamiento difusivo de estos sistemas es de capital importancia. En contraparte, desde el punto de vista experimental, las técnicas para la medición del coeficiente de difusión presentan severas restricciones, las cuales tienen su origen en la compleja naturaleza de los sistemas de polímeros. Por ello, a este campo, parte de la comunidad académica e industrial le están dedicando esfuerzos considerables para dilucidar los fenómenos subyacentes en la polimerización vía radical libre.

## Agradecimientos

El autor agradece al Dr. Humberto Vázquez Torres, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Iztapalapa, el apoyo brindado para usar el calorímetro diferencial de barrido. Asimismo, a los alumnos Víctor Manuel Carrasco Lázaro (TESE) y César Hirokazu Hirata (Facultad de Química, UNAM) por su ayuda en la obtención de los termogramas.

## Referencias...

1. Matyjaszewski, K. En: Matyjaszewski K., editor, ACS symposium series 768, Washington, D. C.: American Chemical Society, 2000. 2-26.
2. Fukuda, T. y Goto, A. En: Matyjaszewski K., editor, ACS symposium series 768, Washington, D. C.: American Chemical Society, 2000. 27-38.
3. Buback, M. En: Matyjaszewski K., editor, ACS symposium series 768, Washington, D. C.: American Chemical Society, 2000. 39-56.
4. Beuermann, S.; Buback, M., Prog. Polym. Sci. 2002, 27, 191-254.
5. Brandrup, J. y Immergut, E. H., editores, Polymer Handbook, 3a ed., New York Wiley-Interscience, 1989.