

# INVESTIGACION *y* CIENCIA

OCTUBRE 2000  
800 PTA. 4,81 EURO

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**

**Chorros y discos  
circumestelares**

**La espada del Cid**



***MALARIA... HANTAVIRUS... DENGUE... COLERA...***

**Los riesgos anunciados  
del calentamiento global**



## SECCIONES

3

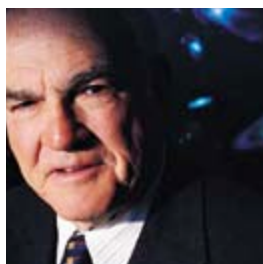
**HACE...**

50, 100 y 150 años.

26

**PERFILES**

Baruch S. Blumberg:  
búsqueda de vida  
en condiciones  
extremas.



28

**CIENCIA Y SOCIEDAD**

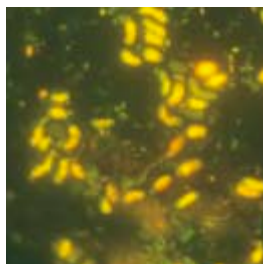
Paleontología española...  
Corteza cerebral...  
Turberas... Tratamiento  
de las aguas residuales...  
Espectrometría atómica  
analítica... Estrategias  
de adaptación... Ciclo celular...  
Naturaleza insólita.



40

**DE CERCA**

Los colores del agua.



16



## Salud y calentamiento global de atmósfera y océanos

*Paul R. Epstein*

Los modelos informáticos prevén que muchas enfermedades se exacerbarán al calentarse la atmósfera terrestre. En algunas regiones ya están apareciendo indicios de las dificultades anunciadas.

4



## Plásticos de origen vegetal

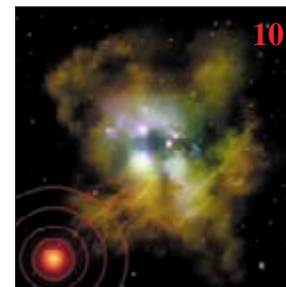
*Tillman U. Gerngross y Steven C. Slater*

Es técnicamente posible obtener plásticos a partir de plantas verdes en lugar de combustibles fósiles no renovables. Pero estos nuevos plásticos quizá no sean tan beneficiosos para el entorno como se había esperado.

## Los primeros días de la vida de una estrella

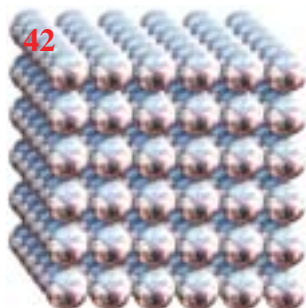
*Thomas P. Ray*

Al ocuparse del origen de las estrellas y los planetas, el telescopio espacial *Hubble* y otros instrumentos han descubierto que se trata de un proceso frenético donde importa la violenta expulsión de grandes chorros de materia.



10

42



## Síntesis por combustión

*Arvind Varma*

En la síntesis por combustión, una onda de fuego que se mueve con suma celeridad convierte montones sueltos de polvo en materiales útiles. El autor descubre cómo observar tales reacciones ultrarrápidas.

46



### Nuevas dimensiones para otros universos

*Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos y Georgi Dvali*

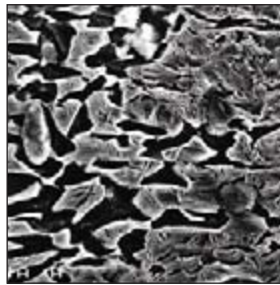
Quizás esté nuestro universo entero en una membrana que flota en un espacio de más dimensiones. Las dimensiones adicionales podrían explicar por qué es tan débil la gravedad y ser la clave para la unificación de todas las fuerzas de la naturaleza.

54

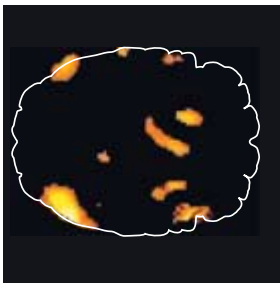
### La espada del Cid

*Antonio José Criado, Juan Antonio Martínez, José Manuel Jiménez y Rafael Calabrés*

La hoja de la supuesta Tizona, la espada del Cid, pertenece al siglo XI. Su estructura está formada por un acero suave en el interior y otro duro en la capa externa.



62



### Circuitos nerviosos de la sexualidad masculina

*Irwin Goldstein y el grupo de trabajo para el Estudio de los Mecanismos Centrales de la Disfunción Eréctil*

Los últimos diez años han revolucionado no sólo la investigación en la erección, sino también la actitud social ante la salud sexual.

68

### Origen de la dieta moderna

*Rachel Laudan*

Nos preguntamos a veces por qué se sirven los dulces al final de las comidas. La cocina moderna de Occidente trae sus orígenes de ideas que sobre la dieta y la nutrición se concibieron en el siglo XVII.



76



### Evolución del ozono troposférico

*Federico Velázquez de Castro, Federico López Mateos y Emiliano Hernández Martín*

Observado por primera vez en 1952 en los Estados Unidos, el ozono troposférico, dañino para la salud humana y la vegetación, afecta hoy a los países mediterráneos, España incluida.

## SECCIONES

82

### TALLER Y LABORATORIO

Acuicultura de plancton, por Shawn Carlson



84

### IDEAS APLICADAS

Enfoque con destello, por Glenn Zorpette

86

### NEXOS

El gran plan, por James Burke

88

### JUEGOS MATEMÁTICOS

Guía fractal al tatetí, por Ian Stewart



91

### LIBROS

La naturaleza y sus fenómenos, Mecánica cuántica, Bioquímica





Portada: Roberto Osti

## PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
4	Tom Draper Design
6	George Retseck
8	Cargill Dow
10-11	C. Robert O'Dell, Mark McCaughrean y John Bally, Telescopio Espacial <i>Hubble</i> y NASA ( <i>izquierda</i> ); Gary Bernstein, Megan C. Novicki y Lucent Technologies ( <i>derecha</i> )
12-13	Alfred T. Kamajian ( <i>arriba</i> ); Christopher J. Burrows ( <i>abajo</i> )
14	William B. Sparks; Thomas P. Ray; Michel Fich y Gerald Moriarty-Schieven; Jon A. Morse
15	Alfred T. Kamajian
16-17	Jean-Marc Bouju ( <i>arriba y abajo izquierda</i> ); Karel Prinsloo ( <i>derecha</i> )
18	Bryan Christie, fuente: Pim Martens
19	Bryan Christie
20-21	Bryan Christie, fuentes: Centro de Predicción Climática NOAA: <a href="http://chge2.med.harvard.edu/enso/disease.html">http://chge2.med.harvard.edu/enso/disease.html</a>
22	Bryan Christie
23	NASA ( <a href="http://pao.gsfc.nasa.gov/gsf/earth/rvalley/rvalley.htm">http://pao.gsfc.nasa.gov/gsf/earth/rvalley/rvalley.htm</a> )
42-43	Bryan Christie
44	Arvind Varma y Alexander S. Mukasyan
47-53	Bryan Christie
55-60	Antonio José Criado, Juan Antonio Martínez, José Manuel Jiménez y Rafael Calabrés
63	Giraudon/Art Resource
64-65	John W. Karapelou
66	Cortesía de Serge Stoleru ( <i>arriba</i> ); Laurie Grace ( <i>abajo</i> )
67	Laurie Grace
69	Heidi Noland
70	Patricia J. Wynne
71	Patricia J. Wynne, fuente: The Medieval Kitchen: recetas de Francia e Italia, Universidad de Chicago Press, 1998
72-73	Patricia J. Wynne
76-77	Ismael Baraibar Lopez ( <i>fondo</i> ); Javier Mantero Saenz ( <i>en recuadro</i> ); Federico Velázquez de Castro, Federico López Mateos y Emiliano Hernández Martín ( <i>gráfica</i> )
78-81	Federico Velázquez de Castro, Federico López Mateos y Emiliano Hernández Martín
82-83	Daniels & Daniels
84-85	George Retseck
86	Patricia J. Wynne
88-89	Bryan Christie

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Asesoramiento y traducción:

M.<sup>a</sup> Rosa Zapatero: *Los primeros días de la vida de una estrella*; Manuel Puigcerver: *Salud y calentamiento global de atmósfera y océanos*; Juan Pedro Adrados: *Síntesis por combustión*; Juan Pedro Campos: *Nuevas dimensiones para otros universos*; Juan Carlos Rodríguez Rubio: *Circuitos nerviosos de la sexualidad masculina*; José Manuel García de la Mora: *Origen de la dieta moderna*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*; José M.<sup>a</sup> Valderas Martínez: *Nexos*

## INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén

EDICIONES José María Valderas, *director*

ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*

PRODUCCIÓN M.<sup>a</sup> Cruz Iglesias Capón

Bernat Peso Infante

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> – 08021 Barcelona (España)

Teléfono 93 414 33 44 Telefax 93 414 54 13

## SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie

MANAGING EDITOR Michelle Press

ASSISTANT MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting

NEWS EDITOR Philip M. Yam

SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix

ON-LINE EDITOR Kristin Leutwyler

SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs

EDITORS Mark Alpert, Carol Ezzell, Steve Mirsky, Madhusree Mukerjee,

George Musser, Sasha Nemecek, Sarah Simpson y Glenn Zorpette

PRODUCTION William Sherman

VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL Charles McCullagh

PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER Gretchen G. Teichgraber

CHAIRMAN Rolf Grisebach

## SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona (España)  
Teléfono 93 414 33 44  
Fax 93 414 54 13

### Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	8.800 pta. 52,89 euro	16.000 pta. 96,16 euro
Extranjero	11.500 pta. 69,12 euro	21.500 pta. 129,22 euro

### Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pta. 4,81 euro  
Extraordinario: 1.000 pta. 6,01 euro

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

## DISTRIBUCION

### para España:

**LOGISTA, S. A.**  
Aragoneses, 18 (Pol. Ind. Alcobendas)  
28108 Alcobendas (Madrid)  
Tel. 91 484 39 00

### para los restantes países:


Prensa Científica, S. A.  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> – 08021 Barcelona  
Teléfono 93 414 33 44

## PUBLICIDAD

GM Publicidad  
Francisca Martínez Soriano  
Menorca, 8, semisótano, centro, izquierda.  
28009 Madrid  
Tel. 91 409 70 45 – Fax 91 409 70 46

### Cataluña y Baleares:

Miguel Munill  
Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup>  
08021 Barcelona  
Tel. 93 321 21 14  
Fax 93 414 54 13

Difusión controlada 

Copyright © 2000 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2000 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.<sup>a</sup> 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocompos reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona  
Imprime Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

# HACE...

## ...cincuenta años

**MICROCIRUGÍA.** «Para trabajar en el liliputiense mundo de las células se necesitan herramientas liliputienses. En los últimos años se han desarrollado instrumentos de alta precisión, que han convertido a la microcirugía celular en una parte importante del estudio del protoplasma. Con un micromanipulador podemos cortar una célula en minúsculos fragmentos, extraer el núcleo e incluso sus cromosomas, así como inyectar fluidos en núcleo y citoplasma.»

**PREJUICIOS.** «De las numerosas zonas de tensión en el seno de nuestra sociedad nosotros investigamos la hostilidad étnica, educado eufemismo para designar los prejuicios raciales. Nuestros resultados respaldan la hipótesis de que los estereotipos individuales no son sólo mecanismos de defensa vitalmente necesarios, sino que persisten, incluso bajo los efectos de experiencias tan reales e inmediatas como servir en una guerra al lado de judíos y negros. Una vez formado un estereotipo, no se erradica con facilidad. Podemos admitir que en tanto la ansiedad y la inseguridad persistan como raíces de la intolerancia, los esfuerzos para disipar los estereotipos o los sentimientos de hostilidad étnica mediante una campaña racional son como mucho paños calientes.» —Bruno Bettelheim y Morris Janowitz

## ...cien años

**EL DESASTRE DE GALVESTON.** «El informe especial de Isaac M. Cline, responsable local de los pronósticos del tiempo de la Oficina Meteorológica de Galveston, confirma en líneas generales los reportajes periodísticos del último y catastrófico huracán. Durante un corto rato después de las 18:15 horas se registró una velocidad máxima superior a los 150 km/h antes de que el viento arrancara el anemómetro. A las 19:30 horas, en la estación meteorológica se estimaba una

altura de marea de unos 4,6 metros para elevarse, durante la hora siguiente, casi un metro y medio más. Según Cline 'esas observaciones se tomaron cuidadosamente'. Hacia las 20:00 horas, una serie de casas que habían sido arrastradas por los elementos y se habían estrellado contra la estación meteorológica derribaron el edificio, y treinta y dos personas de las cincuenta que en él se habían refugiado fueron transportadas a la eternidad y con ellas el propio Cline. El informe afirma que 'una estimación prudente sitúa las pérdidas de vidas en la horrible cifra de 6000'.»

**LOS ALEUTIANOS DE ALASKA.** «A los aleutianos de Alaska, expertos cazadores, el gobierno ruso solía suministrarles provisiones a cambio de pieles. La desaparición de los animales comestibles a causa de su manzanza implacable ha hecho su existencia más difícil. En la construcción de sus lanchas nativas, o 'bidarkas', son muy ingeniosos y las manejan con sorprendente pericia. La bidarka consta de un armazón de madera cubierto con una piel de león marino. Al mejor remero se le concede el mando de la tripulación.»

**PLAGAS ANIMALES.** «En la División de Bioquímica de Agricultura se llevó a cabo, en 1892, el primer trabajo

experimental de producción de un suero antitóxico para la fiebre y la peste porcina. En cultivos de gérmenes de fiebre porcina se descubrió un fermento soluble, enzima del que se demostró su relación con la inmunidad. Durante los últimos tres años se ha preparado suero antitóxico experimental a gran escala, tanto para la fiebre como para la peste, con resultados muy satisfactorios.»

**ELECTRICIDAD CONTRA FUEGO.** «Los bomberos de París disponen de un artefacto perfeccionado, recientemente introducido al objeto de permitir llegar a los incendios y extinguirlos con mayor rapidez que hasta ahora. Nuestra ilustración muestra una bomba de incendios eléctrica preparada. El mismo motor eléctrico que impulsa al carro acciona la bomba en cuanto el vehículo se estaciona ante un incendio.»

## ...ciento cincuenta años

**PAISAJE LUNAR.** «El rasgo más notable de la superficie lunar es el número inmenso de anillos, o cráteres, que tachonan su superficie, sobreponiéndose, interceptándose y, diríase, empujándose unos a otros. Parece bastante seguro que tales anillos son el resultado de una intensa actividad volcánica en un período remoto. En seis octavos de las montañas volcánicas lunares había un cono en el centro del anillo. Esto mismo se observa en las montañas volcánicas extintas de la Tierra, siendo ese cono el fruto de los últimos estertores del volcán al expirar. La Luna posee una masa relativa a su superficie superior a la de la Tierra; bastó ese dato para explicar el mayor número de descargas volcánicas que cubren su piel.»

**POLIS.** «La ciudad de Pittsburgh tiene ahora dos cuerpos de vigilantes nocturnos, uno designado por el alcalde y el otro, por el Comité Policial. Sus funciones se han limitado a estorbarse mutuamente.»



*Bomba de incendios eléctrica. París, 1900*



# Plásticos de origen vegetal

*Desde un punto de vista técnico, nada impide sustituir  
combustibles fósiles no renovables por plantas  
en la fabricación de plásticos. Pero, ¿es ésa la ansiada solución  
de la degradación del entorno?*

**Tillman U. Gerngross y Steven C. Slater**



Conduciendo por una polvorienta pista del centro de Iowa, contempla el agricultor interminables hileras de maizales, mecidos por el viento, hasta los confines del horizonte. Sonríe para sus adentros recordando algo que muy pocos saben: no sólo cosechará los granos de las mazorcas, sino también gránulos de plástico que brotarán de los tallos y las hojas.

Esta imagen idílica de cultivar plásticos, dentro de un futuro previsible, encierra un atractivo inmensamente mayor que la manufactura de plásticos en factorías petroquímicas, que anualmente consume unos 270 millones de toneladas de petróleo en crudo y gas, en todo el mundo. Los combustibles fósiles son, a la vez, fuente de energía y materia prima de donde se obtienen los plásticos comunes, como el poliestireno, el polietileno y el polipropileno. Sería muy difícil concebir nuestra vida sin una serie de artículos que van desde envases y botellas hasta ropas de vestir y piezas de automóvil; sin embargo, crecen las dudas de que la producción de los plásticos pueda mantenerse indefinidamente. Se sabe que las reservas mundiales de crudo van a agotarse en unos 80 años, las de gas natural en 70 años y las de carbón en 700 años, pero la repercusión de su escasez en la economía podría sentirse mucho antes. Al disminuir los recursos subirán los precios, realidad que no pasa inadvertida a los políticos. El presidente Clinton promulgó un decreto en agosto de 1999 en el que instaba a los investigadores a procurar la sustitución de los recursos fósiles por vegetales, que sirvan, a un tiempo, de combustible y de materia prima.

Movidos por esta preocupación, los autores y otros ingenieros bioquímicos se entusiasmaron tras el descubrimiento de métodos para el desarrollo de plásticos en las plantas. A primera vista, semejante hito técnico debería resolver de una vez el problema inherente a la producción de los plásticos. Los sintetizados en plantas serían doblemente “verdes”: se obtendrían a partir de un

recurso renovable y podrían biodegradarse, llegado su momento. Otros tipos de plásticos, también procedentes de plantas, ofrecen un atractivo similar.

Pero las investigaciones recientes aguan el vino de la euforia. Cuestionan la conveniencia de tales estrategias. Por un lado, la biodegradabilidad tiene un precio oculto: la descomposición biológica del plástico desprende metano y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gases de efecto invernadero ambos que retienen el calor y en cuya reducción hay un compromiso internacional. Por si fuera poco, todavía se necesitarían combustibles fósiles para extraer el plástico de las plantas, con un gasto de energía que sería muy superior a lo que todos habíamos imaginado. El éxito de la elaboración de plásticos “verdes” dependerá de que la investigación pueda superar estos obstáculos vinculados al consumo de energía, sin crear nuevas amenazas para el entorno.

La fabricación tradicional de plásticos gasta combustible fósil en cantidades altísimas. Los automóviles, camiones, aviones a reacción y centrales de energía se llevan más del 90 por ciento de la producción de las refinerías de petróleo, pero los plásticos consumen el grueso restante, en torno a los 80 millones de toneladas al año sólo en los EE.UU. Hasta la fecha, la biotecnología y las industrias agrarias se han esforzado en sustituir los plásticos tradicionales por otros de origen vegetal siguiendo tres líneas principales: conversión de los azúcares vegetales en plástico, producción de plástico en el interior de microorganismos y cultivo del plástico en el maíz y otras cosechas.

La agraria Cargill y la química Dow Chemical se propusieron, hace tres años, trabajar juntas en el desarrollo de la primera senda citada, convirtiendo el azúcar del maíz y otras plantas en polilactida (PLA), un plástico. Los microorganismos transforman el azúcar en ácido láctico; en un paso siguiente, las moléculas de ácido láctico constituyen cadenas de un plástico de propiedades semejantes al tereftalato de polietileno (PET), de origen petroquímico y utilizado en botellas de refrescos y fibras textiles.

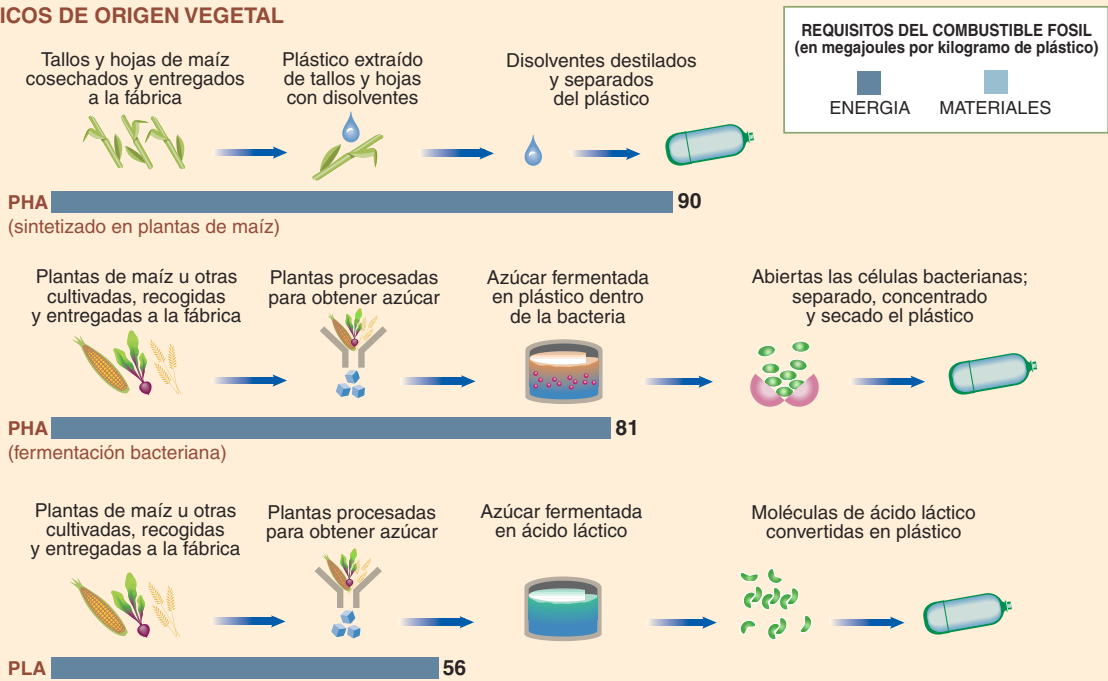
La búsqueda de nuevos productos basados en azúcar de maíz era una ampliación natural de las actividades

**LA CRIA DE PLASTICO en las plantas se propuso como innovación capaz de reducir la demanda mundial de combustibles fósiles.**

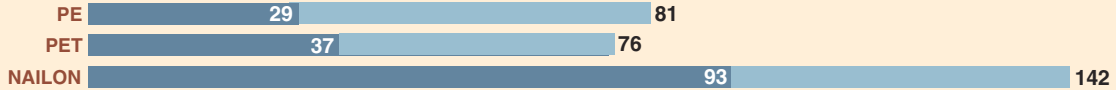
## PRODUCCION Y DEMANDAS DE ENERGIA

En la producción de plásticos vegetales se consume más energía que en la de muchos de origen petroquímico, lo que incrementa la emisión de los gases de invernadero asociados a la quema de combustibles fósiles.

### PLASTICOS DE ORIGEN VEGETAL



### PLASTICOS DE ORIGEN PETROQUIMICO



de Cargill dentro de la industria de mouturación húmeda del maíz, que convierte el grano en jarabe de maíz rico en fructosa, ácido cítrico, aceite vegetal, bioetanol y piensos para animales. En 1999 la empresa procesó casi 39 millones de toneladas de maíz, cerca del 15 por ciento de toda la cosecha del año en los Estados Unidos. Ya en el presente año, Cargill Dow ha invertido por valor de 54.000 millones de pesetas para iniciar a finales de 2001 la producción masiva de su nuevo plástico, llamado Nature-Works™ PLA.

Imperial Chemical Industries, por su lado, se especializó en la producción de un segundo plástico, el polihidroxialcanoato (PHA). A semejanza con el PLA, el PHA se obtiene de azúcar vegetal y es biodegradable. Sin embargo, en el caso del PHA la bacteria *Ralstonia eutropha* convierte directamente el azúcar en plástico. Para sintetizar el plástico, el PLA requiere una etapa

química exterior al organismo, mientras que el PHA se acumula naturalmente dentro de las bacterias formando gránulos que pueden constituir hasta el 90 por ciento de la masa de una célula.

Ante las crisis del petróleo de los años setenta, Imperial Chemical estableció un proceso de fermentación a escala industrial en el cual los microorganismos convertían azúcares de plantas en varias toneladas de PHA por año. Otras compañías moldeaban el plástico para producir navajas, frascos de champú biodegradables y otros artículos comerciales, que se vendían en mercados especializados aunque a precios sensiblemente superiores a los fabricados con recursos de origen fósil. Su única ventaja funcional consistía en ser biodegradables. Monsanto adquirió en 1995 el proceso con las patentes asociadas, pero no logró hacerlo rentable.

Desde entonces numerosas agrupaciones empresariales y académicas,

incluida la propia Monsanto, han canalizado sus esfuerzos para producir PHA por la tercera vía: sintetizar el plástico dentro de la planta misma. Si se modifica la constitución genética de un cultivar de suerte que pueda sintetizar una sustancia plástica a medida que crece la planta, se eliminaría el proceso de fermentación. En vez de sembrar, recoger la cosecha, extraer el azúcar de las plantas y fermentarla para transformarla en plástico, éste se produciría directamente en la planta. Tal enfoque aportaba, para muchos, la solución más eficaz —y la más elegante— fundada en un recurso renovable. En esa dirección han trabajado (y todavía siguen) numerosos laboratorios.

A mediados de los ochenta, uno de los autores (Slater) participó en un grupo que aisló los genes que confieren a las bacterias la capacidad sintetizadora de plástico. Se esperaba que la inserción de estas enzimas en una planta provocaría la transforma-



ción de la acetilcoenzima A —un compuesto que se forma naturalmente cuando la planta convierte la luz solar en energía— en un tipo de plástico. En 1992, un equipo de investigadores de la Universidad estatal de Michigan y de la James Madison lo consiguió. Por medios genéticos prepararon la planta *Arabidopsis thaliana* para que sintetizara un tipo de PHA quebradizo. Dos años después, Monsanto comenzó a producir un PHA más flexible dentro de una planta doméstica común: el maíz.

A fin de que la producción de plástico no tenga que competir con la de alimentos, la investigación se centró en la parte de la planta de maíz que no suele recogerse: el tallo y las hojas que encierran la panoja. Si se cría plástico en tallo y hojas, se podrá seguir recogiendo el grano de maíz con una cosechadora tradicional, y luego, en una segunda pasada, las hojas y tallos que contienen el plástico. A diferencia de la producción de PLA y PHA por fermentación, que en teoría compite en el uso del suelo con cultivos destinados a otros fines, la obtención de PHA en la propia planta permitiría cosechar granos de maíz y plástico de un mismo campo cultivado. (El empleo de gramíneas capaces de crecer en entornos marginales podría asimismo evitar que la producción de plásticos y otras necesidades se disputen el terreno.)

### El problema: energía y emisiones

Se han logrado notables avances técnicos para aumentar la cantidad y las prestaciones del plástico vegetal. Considerados por separado, los resultados obtenidos son alentadores, pero resulta difícil lograr a la vez una composición que sea provechosa y un alto contenido de plástico en la planta. Hasta ahora, los cloroplastos de las hojas han demostrado ser el lugar óptimo de pro-

TILLMAN U. GERNGROSS y STEVEN C. SLATER trabajan desde hace más de ocho años en el desarrollo de técnicas de fabricación de plásticos biodegradables. A ellos les debemos un mejor conocimiento de la enzimología y la genética de las bacterias productoras de plásticos. Gerngross enseña en el Colegio universitario de Dartmouth y Slater es jefe de investigación en Cereon Genomics, filial de Monsanto.

ducción. Pero el cloroplasto es, también, el orgánulo celular que capta la luz; lo que significa que una elevada concentración de plástico podría inhibir la fotosíntesis y mermar la cosecha de grano de maíz.

Separar el plástico de la planta presenta, además, enormes dificultades. En Monsanto se consideró inicialmente que la extracción no era sino un proceso secundario dentro del tratamiento total a que se somete el maíz. Pero al diseñar una instalación teórica, se cayó en la cuenta de que

la extracción y la recogida del plástico necesitaría grandes cantidades de disolvente, que habría de recuperarse tras su aplicación. El proceso exigiría una infraestructura de magnitud comparable a las actuales factorías petroquímicas de plástico y sobrepasaría las dimensiones de la planta de molturación de maíz original.

Con tiempo y recursos económicos suficientes podrían salvarse estos escollos técnicos. Nosotros teníamos previsto dedicar años de investigación al desarrollo de plásticos biodegradables, pero ahora nos preguntamos si merece la pena esforzarse por tales soluciones. El cálculo de la energía y materias primas consumidas en cada etapa de la obtención de PHA en plantas —cosechar y secar tallos y hojas, refinar el plástico, separar y reciclar el disolvente, y combinar plásticos para producir una resina— nos reveló que este tratamiento consumiría todavía más recursos fósiles que la mayoría de los procesos de fabricación petroquímicos.

En nuestro último estudio, terminado en la primavera pasada, nos decepcionó descubrir que producir un kilogramo de PHA a partir del maíz modificado genéticamente requeriría tres veces más energía que los 29 megajoules necesarios para fabricar una cantidad igual de polietileno (PE) mediante combustibles fósiles. Las ventajas de utilizar como materia prima maíz en vez de petróleo no podrían compensar semejante demanda de energía.

Con base en los actuales patrones de consumo de energía en la indus-

tria de tratamiento del maíz, se precisarían 2,65 kilogramos de combustible fósil para la producción de un solo kilogramo de PHA. A tenor de los datos recabados por la Asociación europea de fabricantes de plástico en 36 factorías, calculamos que un kilogramo de polietileno requeriría alrededor de 2,2 kilogramos de petróleo y gas natural, que casi en su mitad se incorporan al producto final. Dicho de otro modo: sólo se quema un 60 por ciento del total —o sea, 1,3 kilogramos— para gene-

## La obtención de PHA en la propia planta permitiría cosechar granos de maíz y plástico de un mismo campo cultivado.



rar energía.

En estos términos de comparación, no es posible sostener que el plástico sintetizado en la planta de maíz y extraído con energía procedente de combustibles fósiles ayude a conservar este tipo de recursos. Lo que se gana al sustituir el recurso de vida finita por otro renovable se pierde con creces en el suplemento de energía que ello comporta. En un estudio anterior, uno de los autores (Gerngross) descubrió que la producción de un kilogramo de PHA por fermentación bacteriana exigía una cantidad similar —2,39 kilogramos— de combustible fósil. El desánimo consiguiente, entre otros factores, hizo que Monsanto, líder de las técnicas de producción de PHA vegetal, cancelara el año pasado el desarrollo de tales sistemas de producción de plástico.

El único plástico de origen vegetal que hoy se comercializa es el PLA de Cargill Dow. Abastecer de energía este proceso requiere del 20 al 50 por ciento menos recursos fósiles que la fabricación de plásticos a partir de petróleo, pero sigue exigiendo bastante más energía que la mayoría de los procesos petroquímicos. La compañía confía en que se recortará el consumo de energía. Todavía se han de aprovechar las mejores conseguidas en la industria petroquímica tras varias décadas de trabajo. Una manera de disminuir el uso de combustible sería el desarrollo de otras fuentes de azúcar vegetal cuyo tratamiento consuma menos energía, por ejemplo, el trigo y la

## EL PLASTICO VEGETAL, UNA REALIDAD

Patrick Gruber, vicepresidente de Cargill Dow, responde a preguntas sobre el nuevo plástico derivado de plantas que produce su compañía.

### ¿Cómo competirá el NatureWorks™ PLA con los plásticos petroquímicos?

El NatureWorks™ PLA combina una serie de propiedades en una sola familia de plásticos. Su textura satinada, capaz de conservar pliegues y torsiones mejor que los plásticos petroquímicos, atrae a las compañías que están desarrollando PLA para envolver caramelos u otros productos de consumo. El PLA ofrece también a los fabricantes de tejidos una fibra natural que puede competir con las sintéticas, como el nailon, tanto en propiedades como en facilidad de procesamiento. En total, los medios industriales han cifrado en miles de millones de libras el mercado potencial del PLA en el sector del vestido, la higiene, fibras para alfombras y empaquetado.

### ¿Qué ventajas ofrece el PLA para el entorno?

Al utilizar como materia prima azúcar de plantas en vez de combustibles fósiles, la producción del PLA consume del 20 al 50 por ciento menos recursos fósiles que los plásticos tradicionales. El PLA se descompone en sus constituyentes químicos originales para su aprovechamiento ulterior; puede reciclarse. Uno de nuestros clientes ya tiene en proyecto utilizar PLA en losetas de moqueta reciclables. El PLA es además biodegradable, de modo muy semejante al papel, en plantas municipales de elaboración de abonos. Por todo esto, el PLA reducirá la dependencia de los combustibles fósiles que hoy padecemos, a la par que proporciona productos ajustados a los métodos actuales de tratamiento de residuos. Estos innegables beneficios para el entorno son un premio adicional; creemos que la gente comprará PLA sobre todo por su buen rendimiento y porque puede competir con las demás técnicas existentes.

### ¿Compensan estas ventajas el que la producción de PLA consuma más energía que la de algunos plásticos petroquímicos?

Conviene señalar que esta técnica de fabricación de PLA sólo cuenta 10 años de existencia, y todavía ha de aprovecharse de las mejoras incorporadas durante casi 100 años a la industria de fabricación de plásticos petroquímicos. Nuestra primera factoría, que ahora se construye en Nebraska, sólo utilizará todavía el 40 por ciento de la energía de combustible fósil necesaria para la producción del nailon tradicional. Cuando nuestros expertos optimicen la producción de PLA, reduciremos hasta un 50 por ciento el consumo de energía de nuestras factorías segunda y tercera, previstas ya para el 2004.

### ¿Piensan abordar lo que Gerngross y Slater denominan "inconvenientes ambientales" del PLA?

Sí. Además de desarrollar métodos de producción que requieren menos energía, también investigamos procedimientos más eficaces para generar energía, incluida la cogeneración y el uso de combustibles renovables como la materia vegetal o biomasa. También buscamos materias primas alternativas para el PLA. La utilización de azúcares fermentables obtenidos de tallos y hojas del maíz permitiría recoger una segunda cosecha. Asimismo puede obtenerse PLA a partir de trigo, remolacha y otras plantas mejor adaptadas a determinados climas.



**LAS ENVOLTURAS de caramelos son sólo uno de los productos que se prevé fabricar a partir del nuevo plástico vegetal de Cargill Dow cuando éste llegue al mercado a finales del 2001.**

remolacha. Entre tanto, según estiman los expertos de Cargill Dow, en la primera instalación productora de PLA que hoy se construye en Blair se consumirán 56 megajoules de energía por cada kilogramo de plástico: un 50 por ciento más de lo que necesita el PET, aunque 40 por ciento menos de lo que requiere el nailon, otro competidor petroquímico del PLA.

La energía necesaria para la producción de plásticos de origen vegetal crea una segunda preocupación ambiental, quizás aún mayor. El petróleo fósil es el recurso primario para la fabricación tradicional de plástico, pero la producción vegetal depende sobre todo del carbón y del gas natural, utilizados para abastecer de energía las industrias de recolección y tratamiento del maíz. Cualquiera de los métodos concebidos para el tratamiento de plantas implica, por tanto, sustituir un combustible más escaso (petróleo) por otro más abundante (carbón). Hay quien sostiene que este cambio contribuye a mantener la producción viable. Pero semejante razonamiento adolece de un fallo: los combustibles fósiles utilizados para elaborar plásticos a partir de materias primas renovables (maíz) han de quemarse en su totalidad para generar energía, mientras que en los procesos petroquímicos hay una proporción apreciable de los recursos fósiles consumidos que se incorpora en el producto final.

La quema de combustibles fósiles en mayor cantidad agrava un problema climático mundial al aumentar la emisión de CO<sub>2</sub>. Naturalmente, también van a aumentar otras emisiones asociadas a la energía fósil, como el SO<sub>2</sub>, gas que contribuye a la lluvia ácida y que, por tanto, se ha de mirar con prevención. Por si fuera poco, todo proceso fabril que incremente tales emisiones se opone frontalmente al Protocolo de Kyoto, iniciativa internacional auspiciada por las Naciones Unidas para mejorar la calidad de la atmósfera y combatir el calentamiento global reduciendo el contenido de CO<sub>2</sub> y otros gases.

Las conclusiones de nuestro análisis son inapelables. El beneficio para el ambiente que supone la producción vegetal de plástico queda anulado con el injustificable aumento en el consumo de energía y emisiones de gases. Parece que el PLA es el único plástico vegetal con probabilidades de ser competitivo en este aspecto. Aunque tal vez no sea una solución tan elegante como la de producir PHA en las mismas plantas, existen

importantes factores que contribuyen a la eficacia de este proceso: el bajo consumo de energía y el elevado rendimiento de la conversión (casi el 80 por ciento de cada kilogramo de azúcar de planta utilizado entra en el producto de plástico final). Sin embargo, pese a todas las ventajas del PLA sobre otros plásticos de origen vegetal, su producción inevitablemente desprenderá más gases de efecto invernadero que la mayoría de los petroquímicos comparables.

### La respuesta: energía renovable

Por poco alentadores que fueran nuestros primeros estudios, no dimos por fracasadas sin remedio estas técnicas de procesamiento de plantas. Pensamos que la quema de materia vegetal, que es biomasa, podría compensar la energía adicional requerida. Las emisiones generadas parecen menos perjudiciales que el CO<sub>2</sub> liberado por la combustión del carbono fósil, millones de años sepultado bajo tierra. La combustión del carbono contenido en los tallos de maíz y otras plantas no debería aumentar el CO<sub>2</sub> existente en la atmósfera, ya que en la siguiente primavera brotarán nuevas plantas capaces, en teoría, de absorber una cantidad igual de gas. (Por la misma razón, los plásticos de origen vegetal no elevan los niveles de CO<sub>2</sub> pues se incineran tras su utilización.)

Junto con otros investigadores, sostuvimos que el uso de biomasa renovable como fuente de energía primaria desharía el vínculo entre la industria de tratamiento del maíz y los recursos fósiles, aunque para ello habría que allanar barreras de orden técnico y construir una infraestructura de generación de energía enteramente nueva. Nos preguntamos si esto llegará algún día a conseguirse. El caso es que la producción de energía en los estados más ricos en maíz presenta tendencias opuestas: en la mayoría de dichos estados un porcentaje abrumador de su energía eléctrica se obtiene del carbón —el 86 por ciento en Iowa, por ejemplo, y el 98 por ciento en Indiana—, muy superior al promedio nacional estadounidense, cercano al 56 por ciento en 1998.

Monsanto y Cargill Dow examinaron posibles maneras de extraer energía de la biomasa. El análisis teórico de Monsanto se basaba en quemar, una vez separado el plástico, tallo y hojas para producir electrici-

dad y vapor. En estas condiciones, se obtenía de la biomasa electricidad más que suficiente para abastecer el proceso de extracción de PHA. Podría llevarse la energía sobrante de la instalación productora de PHA a una central eléctrica próxima para sustituir parte del combustible fósil quemado, lo cual reduciría las emisiones globales de gases de invernadero obteniendo a la vez un plástico valioso.

Importa destacar que la ventaja fundamental para el entorno estriba en utilizar las plantas como fuente de energía, antes que como materia prima. Consideradas por separado la producción de plástico y la generación de energía, el enfoque racional consistiría en utilizar energía renovable en vez de energía fósil para muchos procesos industriales, con independencia de la producción de plásticos. Dicho de otro modo, no hay por qué preocuparse por suministrar energía a un proceso inherentemente más consuntivo cuando tenemos la opción de fabricar plásticos tradicionales con mucha menos energía y, por tanto, con menos emisiones de gases de efecto invernadero. Es claro que se combatirían las emisiones nocivas y el empobrecimiento de los recursos fósiles si se siguieran fabricando plásticos derivados del petróleo y en cambio se utilizara como combustible la biomasa renovable.

Por desgracia, no hay una receta única para superar todas las limitaciones ambientales, técnicas y económicas de los diversos sistemas de fabricación. Los plásticos tradicionales requieren combustibles fósiles como materia prima, mas no así el PLA y el PHA. Los plásticos habituales exhiben una gama más amplia de propiedades que los PLA y PHA, pero no son biodegradables. La biodegradabilidad ayuda a deshacerse de los residuos sólidos, pero a su vez provoca la liberación de gases de efecto invernadero. Es más sencilla la técnica de producir PLA y PHA por fermentación que la de sintetizar PHA en la propia planta de maíz, pero ha de competir con otras necesidades de la explotación agrícola. Y si bien la producción de PLA consume menos recursos fósiles que las de plásticos petroquímicos comparables, lo cierto es que en su fabricación se gasta más energía y, por tanto, hay mayor emisión de gases de efecto invernadero.

Las soluciones que adoptemos dependerán en último término de las prioridades asignadas al empobreci-

miento de recursos fósiles, la emisión de gases de invernadero, el aprovechamiento del suelo, la eliminación de residuos sólidos y el beneficio económico, factores sujetos todos ellos a su propia interpretación, estructuras políticas y sistemas de valores. Sea cual fuere el proceso de fabricación del plástico, el consumo de energía y las emisiones constituyen la repercusión más notable en el entorno.

A la vista de ello, sugerimos que todo sistema de producción de plástico no se limite a reducir la emisión de gases de efecto invernadero, sino que avance un paso más, hasta invertir el ciclo del carbono en la atmósfera. Para conseguirlo habrá que encontrar la manera de producir plástico *no* degradable a partir de recursos que absorban CO<sub>2</sub> de la atmósfera, como son las plantas. Este plástico podría enterrarse luego, una vez utilizado, con lo cual absorbería el carbono del suelo, en lugar de devolverlo a la atmósfera. Ciertos plásticos biodegradables también pueden al fin absorber carbono, ya que los vertederos donde acaban muchos productos de plástico no suelen tener condiciones adecuadas para iniciar una rápida degradación.

En conclusión, tal vez sea demasiado pedir que la industria del plástico reduzca los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub>. Pero cualquier proceso de fabricación, ya no sólo los de plásticos, encontraría ventajoso el empleo de materias primas renovables y energía renovable. Bien podría merecer la pena acometer los notables cambios en la infraestructura de la energía eléctrica mundial que esto conlleva. Después de todo, la energía renovable es el ingrediente esencial de todo plan detallado que establezca una economía viable, y como tal sigue siendo la primera barrera a superar para producir un plástico auténticamente “verde”.

#### BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

POLYHYDROXYBUTYRATE, A BIODEGRADABLE THERMOPLASTIC, PRODUCED IN TRANSGENIC PLANTS. Y. Poirier, D. E. Dennis, K. Klomparins y C. Somerville en *Science*, vol. 256, págs. 520-622, abril de 1992.

CAN BIOTECHNOLOGY MOVE US TOWARD A SUSTAINABLE SOCIETY? Tillman U. Gerngross en *Nature Biotechnology*, vol. 17, págs. 541-544; junio de 1999.

