



# The Presidential Green Chemistry Challenge Awards Program

## Resumen de Propuestas y Premios Otorgados en 1999





# El Programa de Premios del Certamen Presidencial Sobre la Química Verde

## *Contenido*

Resumen de Propuestas y Premios Otorgados en 1999 . . . . .	1
<b>Premios . . . . .</b>	<b>3</b>
<i>Premio Académico . . . . .</i>	<i>3</i>
<i>Premio a la Pequeña Empresa . . . . .</i>	<i>4</i>
<i>Premio a la Ruta Sintética Alternativa . . . . .</i>	<i>5</i>
<i>Premio a los Disolventes y/o las Condiciones de Reacción Alternativos . . . . .</i>	<i>6</i>
<i>Premio al Diseño de Sustancias Químicas de Mayor Seguridad . . . . .</i>	<i>7</i>
<b>Propuestas Académicas . . . . .</b>	<b>9</b>
<b>Propuestas de Empresas Pequeñas . . . . .</b>	<b>33</b>
<b>Propuestas de la Industria y el Gobierno . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>Índice . . . . .</b>	<b>90</b>



# El Programa de Premios del Certamen Presidencial Sobre la Química Verde

## *Resumen de Propuestas y Premios Otorgados en 1999*

Como parte de su iniciativa en el área de renovación de los reglamentos ambientales, el Presidente Clinton anunció una convocatoria sobre el tema de la Química Verde (también conocida como Química Ecológica o Química Proambiental) el 16 de marzo de 1995. De acuerdo al Presidente Clinton, dicha convocatoria fue establecida para “promover la prevención de la contaminación y la ecología industrial a través de una nueva alianza entre el Programa de Diseño para el Medio Ambiente de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) y la industria química.” En particular, el programa se estableció para otorgar reconocimiento y apoyo a las metodologías fundamentales y de innovación que tienen utilidad en la industria, y que logran prevenir la contaminación mediante la reducción de sus fuentes.

La Directora de la EPA, Carol Browner, dio a conocer el Certamen sobre la Química Verde el 30 de octubre de 1995, y describió el programa como una oportunidad para que individuos, grupos y organizaciones “compitan por el premio presidencial en reconocimiento a los avances fundamentales en la promoción de una química más limpia, más económica y más inteligente.” El Certamen para la Química Verde otorga reconocimiento a nivel nacional a tecnologías que incorporan los principios de química ecológica en el diseño, fabricación y uso de productos químicos.

Las propuestas recibidas para el Certamen Presidencial para la Química Verde en 1999 fueron evaluadas por un jurado de expertos técnicos convocados por la Sociedad Americana de Química (American Chemical Society). Las pautas para su evaluación incluyeron los beneficios ambientales y de salud, el grado de innovación científica y la aplicabilidad industrial. Los cinco proyectos que mejor cumplieron con los objetivos del programa y con las pautas de evaluación, fueron seleccionados para recibir el premio correspondiente a 1999 y recibieron un reconocimiento a nivel nacional el 28 de junio de 1999.

Este documento presenta las sinopsis de las propuestas recibidas para el Certamen Presidencial para la Química Verde en 1999. Los trabajos y perspectivas descritos en dichas sinopsis ejemplifican la forma en que numerosos individuos, grupos y organizaciones provenientes del ámbito académico, de la empresa pequeña, de la industria y del gobierno han demostrado su entrega al diseño, desarrollo y uso de metodologías de química verde que representen un menor peligro a la salud humana y al medio ambiente. Los trabajos descritos en dichas sinopsis también ejemplifican la factibilidad técnica y económica del uso de metodologías de química verde y, se les brinda reconocimiento por su valor científico, económico y ambiental.

Nota: Las sinopsis que se presentan en este documento se basan en las propuestas recibidas para el Certamen Presidencial sobre la Química Verde de 1999. Las mismas fueron editadas por motivos de espacio disponible, consistencia estilística y claridad, pero no fueron escritas, ni son respaldadas oficialmente por la EPA. En muchos casos, estas sinopsis representan sólo una fracción de la información proporcionada en las propuestas y, por ende, su propósito es destacar a los proyectos nominados y no describirlos de manera completa. Dichas sinopsis no fueron usadas en el proceso de evaluación mismo que fue llevado a cabo tomando en cuenta toda la información incluida en las propuestas recibidas. Las afirmaciones hechas en las sinopsis no han sido verificadas por la EPA.

Servicios de traducción provistos por Israel D. Fridman bajo el contrato número 68-W6-0021 de la Agencia de Protección Ambiental de los EEUU.



# Premio Académico

## *Activadores de Oxidantes TAML: Activación General del Peróxido de Hidrógeno para la Química Verde*

El trabajo de veinte años de investigación realizado por el Profesor Terry Collins de Carnegie Mellon, ha conducido al desarrollo exitoso de una serie de activadores de oxígeno basados en hierro, compatibles con el medio ambiente. Estos activadores (ligandos tetraamido macrocíclicos, o tetraamido-macrocyclic ligand, TAML) son catalizadores generales de reacciones de oxidantes. Desde el punto de vista ambiental, sus propiedades de activación con el peróxido de hidrógeno en ambiente acuoso son de suma importancia. Los activadores TAML se derivan de un proceso inventado por el Profesor Collins, el cual es un complemento del proceso natural que produce enzimas oxidantes potentes. Dichos activadores prometen múltiples ventajas ambientales, además de un superior desempeño técnico y ahorros considerables a través de una amplia variedad de tecnologías de oxidación. La gama de usuarios de los activadores de peróxidos TAML abarcará desde las industrias primarias de procesos de extracción de gran calibre, hasta los consumidores domésticos en todo el mundo. En pruebas de laboratorio, los activadores Collins han demostrado su potencial en aplicaciones industriales de primera línea, como lo son la deslignificación de la pulpa de madera y en un proceso con aplicación tan amplia como lo es el lavado de ropa.

En términos anuales, la pulpa blanqueada tiene un valor global aproximado de \$50 billones de dólares. La clave en la fabricación de papel de calidad es la eliminación selectiva de la lignina de los polisacáridos fibroso blancos, la celulosa, y la semicelulosa. La deslignificación de la pulpa de madera se ha basado tradicionalmente en los procesos de cloración, los cuales producen sustancias cloradas contaminantes. Ha quedado ampliamente demostrado que los activadores TAML pueden brindar a la industria del papel y la pulpa (Pulp and Paper Industry, P&PI), la primera tecnología de deslignificación de baja temperatura para el tratamiento de pulpa, basada en el peróxido de hidrógeno. El nuevo proceso desplaza el balance elemental de la deslignificación en favor del proceso empleado por la naturaleza para la degradación de la lignina. Dicha estrategia refleja la tendencia reciente de la industria de usar procedimientos de blanqueamiento totalmente libres de cloro (totally chlorine free, TCF). La deslignificación de peróxido con activadores TAML avanza rápida y eficientemente a 50 °C, y por lo tanto, sólo son necesarios requisitos mínimos de capital para hacer modificaciones de equipos e instalaciones en fábricas de papel existentes. La tecnología nueva es más selectiva que cualquier otro proceso TCF y, con la sola excepción de condiciones con bajos niveles de lignina, es tan selectiva como la tecnología de deslignificación basada en dióxido de cloro que predomina actualmente. Estos parámetros muestran que la tecnología nueva puede reducir considerablemente la presencia de contaminantes persistentes que acompañan a los agentes deslignificadores basados en cloro, a través del uso industrial del peróxido para eliminar la mayor parte de la lignina de la pulpa kraft, de manera más rápida y selectiva.

En el ámbito del lavado doméstico de ropa, la mayoría de los blanqueadores se basan en el peróxido. En este caso, los activadores TAML dan cabida al proceso de inhibición de transferencia de tintes más atractivo que jamás se haya desarrollado. Casi todos los tintes de uso en la industria textil comercial, aproximadamente 80, son inertes a la acción del peróxido activado TAML siempre y cuando se encuentren ligados a la tela. Sin embargo, si una molécula de tinte se desprende de la tela, en casi todos los casos el peróxido activado TAML lo intercepta y destruye antes de que pueda transferirse a otra tela. Dicha característica, sumada a las propiedades mejoradas del peróxido activado TAML para la eliminación de

**Terry Collins**  
**Facultad de**  
**Química,**  
**Carnegie**  
**Mellon**  
**University**

manchas, confieren valiosas ventajas comerciales a los fabricantes de productos de lavado doméstico. El conjunto de estas características repercute en beneficios ambientales directos, mediante prácticas de lavado que sustituyen procedimientos estequiométricos con contrapartes catalíticas que utilizan menor cantidad de agua. Asimismo, se espera que haya muchos otros usos; algunos de los cuales ya están en desarrollo, como por ejemplo el uso de activadores de peróxido TAML para la desinfección del agua.

## **Premio a la Pequeña Empresa**

### *Transformación de Desechos de Biomasa de Bajo Costo a Acido Levulínico y Sus Derivados*

La utilización de la biomasa en lugar del petróleo en la fabricación de sustancias químicas, posee numerosas ventajas. La biomasa renovable no contribuye al inventario neto del CO<sub>2</sub> atmosférico, conserva los combustibles fósiles, y brinda un abastecimiento seguro de materias primas necesarias para la elaboración de una gran variedad de productos químicos. La Cia. Biofine, Incorporated, ha desarrollado un proceso hidrolítico de alta temperatura en medio ácido diluido, que transforma la biomasa celulósica en ácido levulínico (Levulinic Acid, LA) y sus derivados. La celulosa inicialmente se convierte en azúcar soluble, misma que se transforma posteriormente en ácido levulínico. Aún sin tomar en cuenta los pagos por concepto de tratamiento de materias de desecho, el proceso es económico, y la celulosa se puede utilizar aún estando mojada, lo que representa ahorros de energía.

En agosto de 1997, Biofine, el Departamento de Energía de los Estados Unidos, la Autoridad de Investigación y Desarrollo de Energía del Estado de Nueva York (New York State Energy Research and Development Authority, NYSERDA) y Biometrics, Inc. iniciaron la producción de LA a partir de lodos residuales de una fábrica de papel a razón de una tonelada por día en la planta piloto en Epic Ventures, Inc. en South Glens Falls, Nueva York. El proceso de Biofine ya había sido demostrado a escala más pequeña con una variedad de materias celulósicas que incluyeron desechos sólidos municipales, papel de desecho no reciclable del municipio, desechos de madera y residuos agrícolas. Biofine espera tener la capacidad de satisfacer la creciente necesidad de opciones de tratamiento de desechos, ambientalmente aceptables.

Los segmentos de mercado del LA constituyen excelentes oportunidades a pequeña escala; oportunidades a mayor escala se generarán a medida que Biofine disminuya el precio de este producto químico intermedio de alta versatilidad. El mercado mundial del LA es de aproximadamente un millón de libras anuales, a un precio de \$4-6/lb. Plantas comerciales a escala industrial son económicamente viables a un nivel de producción de 50 toneladas-secas/día de materia prima. A tal escala, el LA puede ser producido a \$0.32/lb, y puede ser convertido en productos químicos de gran consumo como el ácido succínico o el ácido difenólico, ambos a la venta en \$2/lb o menos, o como el ácido acrílico, cuyo precio es de \$0.50/lb. A largo plazo, Biofine espera construir plantas para procesar 1,000 toneladas-secas/día de materia prima a un costo de \$0.04-0.05/lb de LA. El mercado mundial del LA y sus derivados puede llegar a alcanzar el monto de un trillón de lbs/año. Actualmente se está evaluando la posibilidad de construir plantas a escala industrial en varias localidades de los Estados Unidos, así como en el resto del mundo. A nivel comercial, una planta de escala industrial con una uti-



lización de 1,000 toneladas-secas/día de materia prima podría producir más de 160 millones de lbs/año de LA. Afortunadamente, la tecnología de Biofine es económicamente viable en un rango amplio de capacidad de plantas productoras; hasta la planta piloto de una tonelada por día es autosuficiente, dado el precio actual del LA.

Dado que el LA es utilizado como un precursor, no tiene que ser vendido como producto de gran consumo. Sus derivados son la clave de su potencial comercial, y ya existen mercados de derivados del LA como el tetrahidrofurano, el butanodiol, la gamma-butirolactona, el ácido succínico y el ácido difenólico. Afortunadamente, muchos procesos de conversión son económicamente viables. Tanto el “National Renewable Energy Laboratory” (NREL), como el “Pacific Northwest National Laboratory” (PNNL) y el “Rensselaer Polytechnic Institute” (RPI) están desarrollando aplicaciones para el mercado y métodos de producción para otros derivados, incluyendo el tetrahidrofurano de metilo (methyltetrahydrofuran, MTHF), un aditivo de la gasolina; el ácido delta-aminolevulínico (d-amino levulinic acid, DALA), un pesticida biodegradable y no tóxico de amplio espectro, y nuevos polímeros biodegradables.

## Premio a la Ruta Sintética Alternativa

### *Aplicación Práctica de un Biocatalizador en la Producción Farmacéutica*

La síntesis de un agente farmacéutico coincide frecuentemente con el uso y la producción de grandes cantidades de sustancias nocivas. Esto no debe de causar ninguna sorpresa, ya que por lo general, la síntesis farmacéutica requiere de numerosas etapas, cada una de las cuales puede necesitar materias primas, reactivos, disolventes y agentes de separación. Con el fin de reducir estos peligros, los Laboratorios de Investigación Lilly se encuentran en las etapas tempranas del desarrollo de una ruta sintética alternativa de diseño especial, ambientalmente responsable, para producir el compuesto del sistema nervioso LY300164. La síntesis inicial que respaldó el desarrollo clínico de este enfoque demostró la viabilidad económica del proceso de fabricación. Sin embargo, dicha ruta involucraba varias etapas problemáticas. El proceso requería del uso de grandes volúmenes de disolvente, óxido de cromo (probable agente cancerígeno) y generaba una cantidad desproporcionada de desechos de cromo, en relación a la cantidad de sustancia farmacológica producida. Estos argumentos proporcionaron un incentivo convincente para dedicarse a la búsqueda de un enfoque sintético distinto.

La nueva ruta sintética aumentó la seguridad de los trabajadores y redujo el impacto ambiental, mediante una estrategia que controló de manera más efectiva los ajustes de los estados de oxidación. La nueva síntesis involucró la ejecución de varias etapas ingeniosas a mayor escala. En especial, se descubrió que la actividad cetoreductasa de un microorganismo ordinario, *Zygosaccharomyces rouxii*, conducía a un excelente control estereoquímico en la reducción asimétrica de la cetona dialquilica. La puesta en práctica del proceso biocatalítico a gran escala fue posible gracias a la utilización de un nuevo, original y sencillo sistema reactivo de tres fases. Dicho esquema logró superar las limitaciones existentes que impedían la aplicación práctica de reducciones con intervención de levadura, permitió la carga de altas concentraciones de sustrato al medio de reacción acuoso y proporcionó un método sencillo para el aislamiento del producto. También se descubrió una reacción auto-oxidativa de un isocromo arílico C-1, sin precedente, la cual involucró el tratamiento del sustrato con aire e hidróxido de sodio, además de que eliminó la necesidad de usar oxidantes a base de metales de transición.

**Lilly Research  
Laboratories**

El nuevo proceso fue desarrollado gracias a la combinación de innovaciones en materia química, microbiológica e ingeniería. El proceso evitó el uso de metales no reciclables y redujo de manera importante el uso de disolvente. Por ejemplo, en la producción de 100 kg de LY300164, el nuevo proceso evitó la necesidad de usar aproximadamente 34,000 litros de disolvente y eliminó la producción de aproximadamente 300 kg en desechos de cromo. Además, el esquema sintético también mostró ser más eficiente con una tasa de rendimiento que aumentó del 16 al 55%. Las etapas ingeniosas del proceso representan una tecnología de bajo costo y fácil de poner en práctica, que seguramente encontrará numerosas aplicaciones industriales.

## **Premio a los Disolventes y/o las Condiciones de Reacción Alternativos**

### *Polímeros Líquidos de Dispersión Con Base Acuosa*

Anualmente, por lo menos 200 millones de libras de polímeros a base de acrilamida y solubles en agua se utilizan para acondicionar y purificar el agua, en varias operaciones industriales y municipales. Estos polímeros solubles en agua llevan a cabo separaciones al eliminar los sólidos suspendidos y los contaminantes. En la preparación de tales polímeros en forma líquida, por razones de seguridad y facilidad de manejo, normalmente se combinan monómeros solubles en agua, con agua y una mezcla de hidrocarburo (aceite) y surfactante (agente tensioactivo) en una proporción aproximada de 1:1:1 para formar una emulsión. Posteriormente se polimerizan los monómeros. Desafortunadamente, el aceite y el surfactante de estas emulsiones invertidas no brindan ayuda alguna al desempeño de los polímeros, tan sólo permiten su producción en forma líquida. Esto significa que, como consecuencia de su uso aproximadamente 90 millones de libras de aceite y surfactante (en el nivel actual de consumo) se introducen al medio ambiente. Hasta ahora no ha existido tecnología alternativa alguna para fabricar polímeros líquidos, sin las obvias desventajas ambientales relacionadas con los sistemas que usan aceites y surfactantes.

Con el fin de eliminar las desventajas de los polímeros líquidos de emulsión convencionales, Nalco ha desarrollado una serie de polímeros nuevos que se producen utilizando una tecnología singular de polimerización. Esta tecnología permite la producción de los populares polímeros en forma de partículas finas, dispersas en soluciones acuosas de sulfato de amonio, una sal inorgánica. De tal manera, además de que las características químicas del ingrediente polimérico activo no sufren ningún cambio, dicha tecnología posibilita la producción del polímero como un coloide acuoso estable. Estas dispersiones poliméricas son líquidas y por lo tanto conservan las ventajas de facilidad y seguridad de manejo. Pero además, el uso de soluciones acuosas salinas, en lugar de hidrocarburos y surfactantes como medio de reacción y vehículo del polímero, determina que ningún aceite o surfactante se libere al medio ambiente cuando los polímeros son usados en aplicaciones de tratamiento de aguas.

Al elegir la producción de dispersiones con base acuosa en lugar de emulsiones de agua en aceite, en tan sólo dos polímeros en su línea de productos desde 1997, Nalco ha logrado conservar más de un millón de libras de disolventes de hidrocarburos y surfactantes. Para los usuarios de estos productos, en contraste con los polímeros de emulsiones de agua en aceite, también existen ventajas relacionadas con el hecho mismo de poseer una base acuosa. Por

ejemplo, al no contener aceite el transporte de dichos productos acarrea un menor peligro, su uso es de mayor seguridad puesto que no son inflamables y no liberan VOCs.

Como se mencionó anteriormente, los polímeros de dispersión con base acuosa utilizan la sal sulfato de amonio, un subproducto de desecho de la producción de la caprolactama, el precursor del nylon. La producción de polímeros de dispersión con base acuosa en lugar de emulsiones de agua en aceite, le ha permitido a Nalco reciclar y hacer uso de dicho subproducto, proveniente de otra industria, para el tratamiento y purificación de aguas. Tan sólo en 1998, Nalco pudo utilizar más de 3.2 millones de libras de sulfato de amonio proveniente del proceso de caprolactama, gracias a la decisión de producir tales polímeros en forma de dispersiones con base acuosa en lugar de emulsiones de agua en aceite.

Por último, dado que estos nuevos polímeros son acuosos se disuelven en agua sin los complicados y relativamente costosos equipos de mezclado y alimentación, los cuales son necesarios en operaciones de polímeros de agua en aceite. Esta singular ventaja brinda nuevas oportunidades para que operaciones de mediana y pequeña escala procesen los flujos de aguas de desecho de manera económicamente eficiente.

## Premio al Diseño de Sustancias Químicas de Mayor Seguridad

### *Spinosa, Un Nuevo Producto Natural Para el Control de Insectos*

Se estima que las pérdidas agrícolas sufridas como consecuencia de las plagas de insectos no controladas son asombrosas; superan por mucho los \$12 billones de dólares que corresponden al monto total del mercado actual de productos para el control de insectos. La búsqueda de maneras para controlar las plagas de insectos dañinos que atacan las cosechas y las propiedades, ha hecho que la humanidad pasara por varias etapas en lo referente al control de insectos. Su más reciente manifestación es el arribo de insecticidas con base en la química orgánica sintética. Sin embargo, el desarrollo de resistencia a tales sustancias ha reducido la efectividad de muchos de los insecticidas disponibles actualmente, y el uso de otros se ha restringido debido a obstáculos en materia de estricta reglamentación ambiental y toxicológica.

En tal contexto, a mediados de los años 80s y como parte de un proceso de evaluación y selección agrícola, los investigadores de la Compañía Eli Lilly introdujeron pruebas muy extensas para la evaluación de sustancias de fermentación purificadas. A raíz de este programa, se logró aislar el microorganismo *Saccaropolyspora spinosa* de una muestra de suelo de las islas del Caribe. Así, Dow AgroSciences identificó y desarrolló la actividad insecticida del spinosyns, una familia muy singular de lactonas macrocíclicas con acción insecticida de alta selectividad y compatibilidad ambiental.

En latín, “saccharopolyspora” significa “gusta del azúcar, con muchas esporas”, y “spinosa” hace referencia al aspecto espinoso de las esporas. El microorganismo es una bacteria gram-positiva, no ácida, no motriz y no filamentosa (no filiforme). La mayor parte de la actividad es producida por una mezcla de spinosyn A y spinosyn D, a la que se ha asignado el nombre común de spinosad. Spinosad combina un control altamente efectivo de muchos insectos (que se encuentran en algodón, árboles, frutas, hortalizas, verduras, césped y plantas ornamentales) con un desempeño ambiental superior, y sin afectar a mamíferos ni a otros

**Dow  
AgroSciences  
LLC**

organismos. Los insectos expuestos a spinosad exhiben los síntomas clásicos de neurotoxicidad, tales como falta de coordinación, postración, temblores y otras contracciones musculares involuntarias que a la postre conducen a la parálisis y a la muerte. No obstante, minuciosas investigaciones de sintomatología y electrofisiología han revelado que spinosad no actúa siguiendo ninguno de los mecanismos conocidos. Aparentemente, afecta la función receptora nicotínica y de ácido gamma-aminobutírico a través de un mecanismo singular.

Spinosad presenta un perfil ambiental favorable: no sufre lixiviación ni acumulación biológica, no se volatiliza ni permanece en el medio ambiente. Cientos de pruebas innovadoras de desarrollo de productos, llevadas a cabo a lo largo de varios años, sirvieron para caracterizar la actividad de spinosad y determinaron que del 70 al 90% de los insectos benéficos y avispas de rapiña no sufrieron daño alguno. Como resultado de los bajos niveles de toxicidad en mamíferos, existen menores riesgos para las personas que manejan, mezclan y aplican el producto. De la misma manera, el margen de seguridad relativamente alto para las especies aviarias y acuáticas se refleja en zonas de aislamiento de tamaño reducido o nulo, así como en un menor número de reglamentos y medidas de acatamiento para la protección de ecosistemas no especificados. Contando con estas ventajas, los agricultores pueden controlar plagas dañinas sin preocuparse tanto por la seguridad humana o ambiental, y por los costosos brotes de plagas secundarias.

El primer producto con contenido de spinosad (Tracer Naturalyte™ Insect Control) recibió la consideración acelerada de la EPA y a principios de 1997 fue aprobado bajo la categoría de “riesgo reducido”, como producto de control de insectos en el cultivo de algodón. Otros productos con los nombres comerciales SpinTor™, Success™, Precise™ y Conserve™ también obtuvieron la aprobación para control de insectos en cultivos de hortalizas y de fruto arbóreo, así como para el control en el césped y en plantas ornamentales en los ambientes urbanos.

# Propuestas Académicas

## *Materiales Compuestos Económicos Partiendo de Recursos Renovables (Affordable Composites from Renewable Sources, ACRES)*

Durante los últimos dos años, el grupo ACRES evaluó varios cientos de rutas químicas para convertir el aceite de soya (soja) en plásticos, adhesivos y materiales compuestos de alto rendimiento. Asimismo, desarrolló resinas de soya económicas en base a la soya, compatibles con procesos para la producción en gran volumen de materiales compuestos. Usuarios y transformadores de polímeros están actualmente evaluando y experimentando con nuevos materiales plásticos y adhesivos para aplicaciones a gran escala en los ámbitos de equipo agrícola (tractores y maquinaria agrícola), automotriz (partes de automóviles y camiones), ingeniería civil (puentes y elementos de carreteras), marino (tuberías y equipo de alta mar), infraestructura ferroviaria (vagones de pasajeros, de carga y de tolva) e industria de la construcción (tabla de partículas aglomeradas libre de formaldehído, techos, maderería especializada). Los avances recientes en la ingeniería genética, en el desarrollo de fibras naturales y en la ciencia de materiales compuestos abren nuevos caminos y oportunidades para materiales novedosos, mejorados, hechos a partir de recursos renovables, en apoyo a la meta de sostenimiento global.

## *Polimerización de Radicales con Transferencia Atómica*

La polimerización de radicales con transferencia atómica (Atom Transfer Radical Polymerization, ATRP) es una nueva tecnología que permite el desarrollo de materiales poliméricos originales de alto desempeño. El proceso utiliza un catalizador de metal de transición, que puede ser reciclado, para regular el control de la polimerización de un radical. El proceso de polimerización permite la preparación directa del polímero en un medio de monómero, evitando así el uso de compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compounds, VOCs) para moderar la velocidad de polimerización. Además, la ATRP puede ser llevada a cabo en disolventes ambientalmente compatibles tales como el agua o el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los productos que se preparan usando la ATRP representan materiales avanzados que pueden ayudar a mitigar los problemas ambientales y de la salud que se manifiestan hoy en día. Un ejemplo es la preparación del policloruro de vinilo (polyvinyl chloride, PVC) auto-plastificante, la cual puede reemplazar los ftalatos nocivos actualmente usados en la plastificación del PVC en los juguetes infantiles.

## *Adsorbentes Con Base Biológica Para Enfriadores Desecantes*

La actualización de los estándares de aceptabilidad de la calidad del aire en espacios interiores ha duplicado los requisitos de ventilación en edificios comerciales, así como en establecimientos de venta al por menor. La necesidad de deshumidificar el flujo adicional de aire, aunada al problema del retiro progresivo de los freones del mercado y a la necesidad de controlar los costos de deshumidificación y enfriamiento del aire, han dado por resultado un incremento en el uso de las ruedas de desecado. De acuerdo con el Instituto de Investigación del Gas (“Gas Research Institute”) que financió el estudio, cuando se combinan las ruedas de desecado con los sistemas de calentamiento, ventilación y acondicionamiento de aire se producen ahorros tanto de capital como de costos de operación.

**Profesor Richard P. Wool, University of Delaware**

**Profesor Krzysztof Matyjaszewski, Facultad de Química, Carnegie Mellon University**

**Profesor Michael R. Ladisch, Laboratorio de Ingeniería en Recursos Renovables y Facultad de Ingeniería Agrícola y Biológica, Purdue University**

Los sistemas de ruedas de desecado pueden secar y enfriar grandes volúmenes de aire, y potencialmente podrían reemplazar los refrigerantes CFC y HFC usados en sistemas de acondicionamiento de aire a compresión. La producción actual de desecantes es de aproximadamente 180 millones de libras por año. Alrededor de la mitad de dicha cantidad se basa en mallas moleculares, y el 25% en gel de sílice. El potencial de desecado de los almidones y la celulosa fue dado a conocer en la revista *Science* en 1979 y su escalamiento, a nivel industrial, se llevó a cabo en 1984. El maíz molido se usa en un proceso de adsorción que reemplaza la destilación azeotrópica para secar aproximadamente 750 millones de galones de etanol para uso como combustible por año. El adsorbente de maíz demostró simultáneamente ser capaz de ahorrar energía y de evitar el uso de benceno como agente de secado.

En proyectos actuales en Purdue University sobre el desecado de enfriadores de aire, se está llevando a cabo la investigación básica y la demostración del potencial de los adsorbentes basados en almidón y la celulosa. Estos proyectos evolucionaron a partir de la primera aplicación del maíz a medio moler hasta el secado del alcohol, para su uso como combustible. La investigación interdisciplinaria en la Universidad Purdue ha demostrado que las ruedas de desecado son potencialmente compatibles con materiales basados en el almidón y la celulosa. Estos adsorbentes tienen base biológica. A diferencia de la gel de sílice y otros adsorbentes inorgánicos, los desecantes con base biológica son menos costosos, biodegradables y se derivan de una fuente renovable. Su bajo costo y alta disponibilidad podrían acelerar el desarrollo de sistemas de acondicionamiento de aire compatibles con el ambiente, para usos residenciales y comerciales.

### *Conversión Biológica del Dióxido de Carbono en Materias Primas Orgánicas*

Ha quedado establecido que las emisiones de dióxido de carbono son responsables de la mitad del aumento mundial de la temperatura. Los esfuerzos para disminuir el consumo de combustibles fósiles están limitados por el aumento de la población humana y la industrialización, sumados al hecho de que las alternativas de los combustibles fósiles conllevan sus propias e importantes limitaciones. Es sumamente urgente no sólo conservar las reservas de combustibles fósiles, sino también encontrar maneras de reciclar el principal producto de la combustión, es decir, el dióxido de carbono. En este campo, se ha desarrollado un proceso biológico muy singular que es capaz de convertir el dióxido de carbono de desecho usando algas. Dichas algas son fermentadas posteriormente para producir una variedad de materias primas orgánicas, tales como el etano y el ácido acético. Los intentos anteriores de utilizar bacterias fototróficas para la fijación del dióxido de carbono gaseoso han sufrido las dos limitaciones siguientes. Primero, la fotosíntesis de las bacterias fototróficas precisa de condiciones anaeróbicas y, a su vez, ello requieren que el dióxido de carbono se separe del oxígeno, lo que representa un proceso costoso. Segundo, a diferencia de las algas, las bacterias fototróficas necesitan un amplio espectro luminoso, lo que requiere que la fuente de luz sea solar.

En el trabajo del Dr. Rakesh Govind y de Rajit Singh en la Universidad de Cincinnati, una alga marina, *Tetraselmis suecica*, ha sido usada con éxito en un reactor fotobiológico empleando diodos de emisión de luz (Light Emitting Diodes, LEDs) con una longitud de onda específica de 680nm y un tiempo de residencia en gas de unos cuantos segundos. Se logró experimentalmente una eficiencia de eliminación del dióxido de carbono (proveniente de la chimenea de una planta de generación de energía eléctrica de carbón mineral) mayor al 98%, con un tiempo de residencia en gas de 3 segundos, a temperatura y presión ambientales. El alga se separó de la fase acuosa por sedimentación en un clarificador y, posteriormente, se

convirtió en ácido acético y metano bajo condiciones anaeróbicas que utilizaron fermentación electrodiálítica en un reactor intermitente (batch) con rendimientos superiores al 85% para ácido acético, y al 89% para gas metano. Por otra parte, la literatura científica ha dejado plenamente establecida la conversión catalítica del gas metano a metanol y a otras materias primas orgánicas. En suma, este proceso ofrece las siguientes ventajas: a) conversión biológica del dióxido de carbono de desecho en materias primas orgánicas de utilidad, a presión y temperatura ambientales; b) alta eficiencia de conversión del dióxido de carbono a algas y posteriormente a ácido acético y metano; y c) una rápida velocidad de reacción en la producción de algas en el reactor fotobiológico. El análisis económico de la tecnología indica que puede ser fácilmente puesta en práctica en plantas generadoras de energía, y que el ácido acético puede ser producido a la mitad de su costo actual de producción a partir de gas natural o petróleo.

### *Avance en la Especificidad Posicional (Regiospecificity) y Minimización de la Formación de Productos Secundarios Mediante la Preparación Biosintética del p-hidroxibenzoato*

El trabajo de Steven W. Peretti en North Carolina State University ejemplifica el beneficio de la catálisis biológica en el ámbito de la química verde. Su enfoque es el desarrollo de rutas biosintéticas innovadoras en la producción del p- hidroxibenzoato (p-hydroxybenzoate, HBA). La producción biocatalítica del HBA rinde superior especificidad posicional que la carboxilación de dos etapas Kolbe-Schmitt del fenol, la tecnología más avanzada hoy en día. Debido a la especificidad de las reacciones catalizadas por enzimas se obtienen importantes reducciones en la producción de materiales secundarios residuales en la fuente generadora. También se obtienen elevados niveles de seguridad tanto para el medio ambiente como para la salud humana gracias a las condiciones de reacción utilizadas. La producción de HBA ahora se puede lograr con un proceso de un sola etapa, una característica singular que no puede lograrse usando rutas químicas tradicionales.

La producción de HBA se lleva a cabo por contacto directo de tolueno con una masa activa de células. El tolueno se difunde pasivamente dentro de las células y se transforma en HBA a través de una serie de reacciones enzimáticas intracelulares. Dado que la ruta para el catabolismo del HBA está vedada usando la mutagénesis química, el HBA producido por la conversión con tolueno no se incorpora a la materia celular, ni se oxida para producir energía, sino que se secreta fuera de la célula y del medio de cultivo. Posteriormente, el HBA se puede recuperar por precipitación de un flujo acidificado, luego de haber retirado la masa de células.

### *Cheminformatics: Un Software Más Rápido, Efectivo y Económico*

Se han desarrollado algoritmos para el análisis de datos de espectrometría de masa (Mass Spectrometry, MS) que, si se combinan con la inyección de muestras de cromatografía de gases (Gas Chromatography, GC) de alto volumen, producen análisis cuantitativos de una amplia variedad de contaminantes registrados por la EPA, en menos de 10 minutos, y datos semicuantitativos en cinco minutos utilizando GC/MS. Se generaron datos de análisis de suelos en el campo de trabajo, estos datos fueron verificados por la EPA y usados para determinar el riesgo a las aguas subterráneas y hacer un trazo de las áreas contaminadas en la propiedad de la Base Hanscom de la Fuerza Aérea. La tecnología que se presenta reduce de manera importante el tiempo necesario para preparar muestras, el consumo de disolventes, la

**Steven W. Peretti,**  
Facultad de Ingeniería  
Química, North  
Carolina State  
University

**Albert Robbat Jr.,**  
Facultad de Química,  
Tufts University

necesidad de contar con múltiples métodos para analizar la amplia gama de sustancias especificadas por la EPA, y eleva la productividad del laboratorio de 3 a 6 veces. Además de la MS, los algoritmos principales se pueden aplicar a cualquier sistema de detección que genera señales características de banda estrecha, incluyendo la detección de emisión atómica de metales (Atomic Emission Detection, AED). Por ejemplo, los mismos algoritmos de desconvolución podrían resolver señales de espectro superpuestas, así como sucede en GC/MS, en técnicas tales como la cromatografía líquida/MS (Liquid Chromatography/MS, LC/MS), la electroforesis capilar/MS (Capillary Electrophoresis/MS, CE/MS), el acoplamiento de plasma por inducción/AED y otras aplicaciones de MS. Cuando se utilizan instrumentos de LC/MS y CE/MS, los ensayos con tiempos más cortos implican consumo reducido de disolvente. Esto es particularmente importante si se toma en cuenta el crecimiento explosivo en el número de ensayos de LC/MS que se manifestará en los mercados fármaco biotecnológicos. Es decir, gracias a los avances de la tecnología de química combinatoria, hoy en día un químico puede sintetizar anualmente de 1,000 a 10,000 nuevas sustancias, comparadas con las 10 sustancias que se obtenían anteriormente.

### *Recubrimientos Fosfatantes In Situ, Sin Cromo, en un Paso*

Se estima que el monto anual de las pérdidas sufridas por concepto de la corrosión metálica llega a los billones de dólares, equivalente al 4 por ciento del producto nacional bruto. En la práctica comercial se han usado recubrimientos orgánicos de polímero para proteger los sustratos metálicos contra la corrosión, tanto en la industria de los recubrimientos comerciales como en el ámbito militar. La práctica actual de recubrimiento orgánico de metales involucra un proceso de varias etapas, causando importantes gastos de energía, mano de obra y control. El tratamiento tradicional de fosfato para la preparación del metal previo a la aplicación de la pintura es un proceso costoso y propenso a errores. Por ejemplo, información proporcionada por la planta de tractores de la Cia. Caterpillar en Montgomery, Illinois, sobre su línea de fosfatación de tubos hidráulicos indica un costo anual de \$330,000 dólares (agua/tratamiento de aguas—\$70,000; Substancias químicas—\$36,000; mano de obra—\$166,000; vapor—\$50,000; y electricidad—\$8,000). Además, el uso de inhibidores de la corrosión, de baños en línea de fosfatación así como el proceso de sellado con cromo que se usa en la práctica actual de recubrimiento de varias etapas, produce desechos tóxicos tales como disolventes clorados, cianuro, cadmio, plomo, y cromatos cancerígenos.

La tecnología innovadora de química verde en base a recubrimientos fosfatantes in situ (In-Situ Phosphatizing Coatings, ISPCs) consiste de un proceso auto-fosfatante en un solo paso. El singular principio de operación del ISPCs involucra la dispersión previa in situ de una cantidad óptima de reactivos fosfatantes (In Situ Phosphatizing Reagents, ISPRs) en la pintura deseada, para formar un paquete compatible de revestimiento. La formación in situ de una capa de fosfato metálico elimina de hecho la etapa de tratamiento previo de la superficie, es decir, el uso de un baño o línea fosfatante. Los ISPRs forman enlaces químicos con la resina del polímero. A su vez estos enlaces llevan a cabo el sellado y minimizan la porosidad del sustrato fosfatado. Se espera que, el uso de enlaces químicos en el sellado in situ de los poros del fosfato metálico incremente la adhesión del revestimiento y suprima la corrosión del sustrato sin necesidad de un tratamiento final de enjuagues con contenido crómico ( $\text{Cr}^{6+}$ ).



## *Uso de Llantas Recicladas en el Diseño de Concreto Impregnado Con Caucho*

En los Estados Unidos se desechan anualmente alrededor de 279 millones de llantas viejas. Además, cerca de 3 billones de llantas se encuentran acumuladas actualmente en depósitos de desechos en todo el país. Expertos en administración de desechos reconocen la necesidad de reciclar, reutilizar o reducir el desecho de llantas de caucho (hule). Ello ayudaría directamente a la reducción del número de llantas en los depósitos de desecho. Se han propuesto varios procesos para la reutilización del caucho de desecho. El uso de las llantas como combustible y material asfáltico ha sido sólo parcialmente exitoso. El trabajo del Dr. Dharmaraj Raghavan en Howard University ha conducido al desarrollo de una tecnología que mezcla partículas de caucho de llantas de desecho, con cemento Portland, dando por resultado un material más ligero, con desempeño superior como mortero y probablemente también como concreto.

La producción anual de cemento a nivel mundial es superior al billón de toneladas y existe la posibilidad que se duplique en los próximos 14 años. Los materiales a base de cemento son baratos, fáciles de producir y cuentan con propiedades técnicas valiosas tales como la alta durabilidad y la resistencia a la compresión. Sin embargo, una de las desventajas más importantes de los materiales a base de cemento es la vulnerabilidad del concreto a la falla catastrófica y a la fisuración plástica por contracción. Un descubrimiento alentador ha sido que, tanto la fisuración plástica del concreto por contracción como su vulnerabilidad a la falla catastrófica, pueden ser disminuidos de manera importante mediante la añadidura de una cantidad suficiente de caucho fibroso. Pruebas químicas del caucho recuperado del concreto no muestran evidencia alguna de deterioro del caucho y, en consecuencia, no hay peligro de liberar al medio ambiente sustancias químicas del caucho lixiviado. Entre los usos posibles del concreto impregnado con caucho se encuentran: los sustratos de cinta asfáltica en carreteras, la faja divisoria en carreteras, las barreras de sonido y otras estructuras de carreteras. En la actualidad, en los Estados Unidos se gastan \$250 billones de dólares en proyectos de infraestructura anualmente. Si el concreto impregnado con caucho reemplazara tan sólo una pequeña fracción del material convencional usado en la infraestructura, las repercusiones en las industrias civil y de materiales compuestos serían muy considerables. La tecnología de reutilización de las llantas en forma de sistemas a base de cemento genera un material de infraestructura de valor añadido y, al mismo tiempo, elimina tanto la amenaza inminente a la salud, como el potencial de explosión que reside en la naturaleza inflamable de las llantas de caucho.

## *Los Efectos de la Corrosión del Hierro Atómico Sobre la Contaminación de Metales Pesados Debido a la Oxidación de la Pirita*

La actividad del metal ferroso que sufre corrosión durante el escurrimiento rocoso ácido (Acid Rock Drainage, ARD), fue examinada para evaluar la efectividad de su neutralización así como la reducción del nivel de metales pesados en solución y en los suelos. En soluciones ácidas, el hierro hidroliza el agua y produce iones de hidruros e hidróxidos, lo que acarrea un aumento asociado del pH, disminución del Eh y la eliminación de los metales pesados en solución, todo ello empleando una variedad de mecanismos. Un reactor coloidal intermitente procesa eficazmente el ARD proveniente de Berkeley Pit, Montana. Columnas de hierro procesan eficazmente la carga de agua del terreno y las soluciones simuladas de lixiviado de ARD. Una solución simulada de ARD (solución estabilizadora de bisulfato pH = 4) con zinc disuelto fue tratada con hierro metálico coloidal. Los estudios cinéticos definieron una

**Dr. Dharmaraj  
Raghavan, Facultad de  
Química, Howard  
University**

**Gregory Moller, Holm  
Research Center,  
University of Idaho**

**Craig L. Hill, Facultad de Química, Emory University**

**Ira A. Weinstock, Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA, Laboratorio de Productos Forestales**

dependencia de primer orden de la velocidad inicial de reacción en el área superficial del hierro metálico, en la cual la velocidad de consumo del zinc es  $-r_{Zn} = 1.2 \cdot A_{Fe}$ . La vida media de la reacción de eliminación del zinc en solución fue de 140 minutos. En estos experimentos, los análisis de difracción de rayos X de la masa de sólidos de oxidación mostraron óxido verde, magnetita y estructuras de goetita. Durante el proceso de corrosión, el hierro también produce un ambiente reductor que estimula el crecimiento de bacterias reductoras de sulfato (Sulfate Reducing Bacteria, SRB), aumentando la población por un factor de 5,000 y proporcionando sulfidogenesis como una ruta adicional para la estabilización suplementaria de los precipitados de metales pesados.

### *Un Proceso Libre de Efluentes Que Utiliza Oxígeno en Lugar de Compuestos de Cloro en el Blanqueado de la Pulpa de Madera*

Se ha desarrollado un enfoque totalmente nuevo para la deslignificación de la madera o la pulpa de la madera—materiales compuestos de celulosa y lignina—en la fabricación del papel. Este proceso químico logra un objetivo no alcanzado por ninguna otra tecnología desarrollada hasta la fecha. Sin embargo, la naturaleza ostenta un proceso de deslignificación selectiva de la madera, o la pulpa de la madera, que utiliza solamente materiales disponibles y no tóxicos, como lo son el aire y el agua. La madera está constituida principalmente de dos polímeros biológicos: la celulosa, que confiere fuerza estructural a los árboles y al papel, así como la lignina, que confiere color, textura y propiedades mecánicas a la madera. En la fabricación de papel de alta calidad, el objetivo es eliminar la lignina causando el menor daño posible a las fibras de celulosa (el papel de alta calidad está compuesto de fibras de celulosa libres de lignina).

La naturaleza lleva a cabo este proceso de etapas múltiples, química y técnicamente problemático, utilizando una complicada serie de enzimas metálicas selectivas (oxidasa glioxal, ligninasa, y peroxidasa de manganeso). A pesar de haber sido fundada hace muchas décadas, la industria de la pulpa y el papel aún no se acerca a lo logrado por la naturaleza. Han predominado las sustancias cloradas como oxidantes, mas no el  $O_2$ . Si bien es cierto que a través de décadas de optimización se ha alcanzado una deslignificación altamente selectiva (daño mínimo de la celulosa), las tecnologías artificiales producen flujos de desecho que contienen compuestos fenólicos ambientalmente perjudiciales, al igual que compuestos aromáticos clorados no biodegradables. Por lo tanto, la presión social y legislativa en todos los países desarrollados está obligando a los fabricantes de pulpa a eliminar progresivamente el cloro. Los oxidantes alternativos de mayor atractivo, el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) o el ozono ( $O_3$ ), poseen limitaciones inherentes. El peróxido de hidrógeno simple y llanamente no es efectivo. Los procesos que usan ozono, si bien son potencialmente efectivos, no alcanzan a producir el grado de selectividad que es necesario en usos comerciales, o el que se observa en la naturaleza.

El nuevo enfoque biomimético emplea bancos de polyoxometalatos (POMs) inorgánicos versátiles, no tóxicos y de bajo costo en un proceso de dos etapas. La primera etapa consiste en la deslignificación de la pulpa de madera (blanqueado) por medio de la reacción con el POM oxidado, y produce fibras de celulosa de alta calidad. A medida que el POM se reduce reversiblemente, la lignina se oxida y se solubiliza. En la segunda etapa, se agrega  $O_2$  al licor blanqueador y el POM cataliza la conversión completa (mineralización) de los fragmentos disueltos de lignina a  $CO_2$  y  $H_2O$ . De forma conjunta, las dos etapas logran la eliminación selectiva de la lignina de la madera, utilizando solamente aire y agua, reflejando así un proceso ideal que hasta ahora sólo había logrado la naturaleza. La tecnología biomimética

catalítica evita los problemas relacionados con los procesos convencionales basados en el cloro, al mismo tiempo que resuelve las limitaciones propias de otras opciones de blanqueo sin cloro. Por lo menos seis atributos del proceso son verdes; por ejemplo, se eliminan completamente los flujos de desecho (se obtiene un “proceso cerrado”). La alta selectividad representa un consumo reducido de la madera, un recurso natural renovable. El proceso es energéticamente eficiente y, según lo indican análisis recientes, también es económicamente eficiente.

### *Levadura de Panadería Modificada Como Método de Incorporación de la Catálisis Biológica en las Fases Tempranas del Diseño de Procesos: Aplicación a la Oxidación Asimétrica Baeyer-Villiger*

Las enzimas poseen muchas ventajas comparadas con los reactivos químicos tradicionales, pero su aplicación generalmente se relega a las fases de escalamiento de los procesos. Tendría más sentido económico y ambiental si los métodos de catálisis biológica se incluyesen durante la fase de descubrimiento inicial. Sin embargo, esta noción requeriría que los químicos de laboratorio tuviesen acceso a los catalizadores biológicos. Además, muchos de ellos no poseen educación en bioquímica o microbiología. El Dr. Jon D. Stewart de la Universidad de Florida ha desarrollado levaduras de diseño especial, es decir, células ordinarias de levadura de panadería que se han modificado para secretar una o más proteínas ajenas. Células enteras de estas levaduras modificadas se pueden utilizar en síntesis orgánicas directamente como catalizadores biológicos. Para demostrar tal concepto, el grupo del Dr. Stewart ha creado una línea de levaduras que catalizan una amplia variedad de oxidaciones Baeyer-Villiger con selectividad enantiomérica. Si bien esta clase de reacción desempeña un papel importante en la síntesis a nivel de laboratorio, los serios problemas ambientales y de seguridad relacionados con los reactivos actuales impiden su uso a escala industrial. La enzima acinetobacteria ciclohexanona monooxigenasa fue secretada en *Saccharomyces cerevisiae* y células enteras de la levadura modificada se usaron para oxidar varias cetonas con buenos rendimientos y alta selectividad enantiomérica. Este proceso utiliza O<sub>2</sub> atmosférico como oxidante y el único producto secundario es el agua. La biomasa celular y el medio de cultivo agotado se pueden desechar en el alcantarillado sanitario después de haber sido desactivadas con calor.

### *Ventajas Ambientales Presentadas Por las Reacciones de Formación de Enlaces Carbono-Carbono en Medio Acuoso Usando Iridio Como Promotor*

Dadas las crecientes necesidades de reducir las emisiones generadas durante la preparación de productos químicos y farmacéuticos de consumo, es imperativo considerar el desarrollo de reacciones de formación de enlaces carbono-carbono en medio acuoso. El trabajo del Dr. Leo A. Paquette en la Universidad del Estado de Ohio, ha demostrado no sólo que el concepto—aparentemente contrario a la intuición—de reacciones organometálicas capaces de producir enlaces carbono-carbono en medio acuoso es de hecho factible, sino también que se pueden alcanzar altos niveles de control estereoquímico. La clave de esta tecnología ambientalmente compatible es la utilización del iridio metálico como promotor. Se ha demostrado recientemente que el metal iridio, un elemento relativamente desconocido, presenta ventajas interesantes en la promoción de transformaciones orgánicas en solución acuosa. Por ejemplo, la posibilidad de llevar a cabo condensaciones acuosas organometálicas

**Dr. Jon D. Stewart,  
Facultad de Química,  
University of Florida**

**Dr. Leo Paquette,  
Facultad de Química,  
The Ohio State  
University**

**Profesor John C. Warner, Facultad de Química, University of Massachusetts, Boston Polaroid Corporation**

o con carbonilo ha sido plenamente demostrada con el iridio metálico. El iridio no es tóxico, es muy resistente a la oxidación con el aire y se recupera fácilmente por medios electroquímicos, lo que permite su reutilización y garantiza la no contaminación de los flujos de desecho. El potencial del método sintético a menudo supera los niveles de desempeño obtenidos usando disolventes netamente orgánicos. Esto se manifiesta en la ausencia de medidas para proteger grupos químicos, en una facilidad de operación muy superior y en la reducción considerable del riesgo de contaminación.

### *Montajes Supramoleculares de Hidroquinonas Ambientalmente Benignos en la Fotografía Polaroid de Revelado Instantáneo*

El trabajo del Profesor John C. Warner en la Universidad de Massachusetts, en Boston, representa el primer ejemplo de síntesis supramolecular para la prevención de la contaminación en un sistema de producción industrial. Empleando los conceptos de reconocimiento molecular y auto montaje, se ha desarrollado una nueva técnica para el control de moléculas situadas dentro de películas y recubrimientos. Este proceso posee un número de ventajas ambientales tales como la reducción del número de etapas de síntesis, la disminución de la producción de desechos, la reducción del uso de disolventes y la introducción de procesos acuosos o sin disolvente. Esta técnica permite que se añadan 'reactivos de complejación' simples, económicos y de fácil obtención, en lugar de requerir múltiples y prolongadas reacciones químicas en medio disolvente para sintetizar una serie de candidatos en estudios de actividad estructural. Para que estos montajes tengan éxito en la prevención de la contaminación, es menester reducir de manera importante el número de reacciones sintéticas efectuadas. La formación de estos montajes frecuentemente no involucra disolventes orgánicos. Las estructuras supramoleculares se pueden construir utilizando técnicas de molturación en estado sólido o en dispersión acuosa.

**Chi-Huey Wong, Ernest W. Hahn Profesor de Química, The Scripps Research Institute**

### *Enzimas en Síntesis Orgánica a Gran Escala*

Esta propuesta atañe a las contribuciones originales de Wong en el desarrollo de métodos distintivos enzimáticos y quimo-enzimáticos para la síntesis orgánica a gran escala. Tres logros importantes en esta disciplina son: a) la tecnología de avance para la síntesis de oligosacáridos que utiliza transferasas glicosílicas genéticamente modificadas, en conjunción con la regeneración in situ de nucleótidos de azúcar, la cual ha permitido la síntesis a gran escala de carbohidratos complejos para su uso en la evaluación clínica; b) el uso de enol ésteres (v.gr. acetato de vinilo y acetato isopropenílico) en las reacciones de transesterificación catalizadas con enzimas, un método de uso generalizado en la síntesis enzimática de compuestos hidroxílicos de pureza enantiomérica; c) el uso de aldolasas recombinantes en reacciones asimétricas de aldeos, que han abierto una ruta original y práctica a la síntesis de nuevos monosacáridos y estructuras asociadas, como por ejemplo, ácidos siálicos, azúcares con configuración L-, e iminocitolos. Entre otros métodos enzimáticos importantes desarrollados por Wong se encuentran la síntesis de glicopéptidos, glucoproteínas, aminos quirales, prostaglandinas, y numerosos compuestos sintéticos intermedios quirales (chiral synthons). Todas estas transformaciones sintéticas son ambientalmente compatibles para su aplicación en procesos a gran escala y son de importancia para las industrias farmacéutica y de productos de especialidad. Además, es imposible o impráctico obtenerlas por medios no enzimáticos.

## *Catálisis de Dos Fases Con Flúor: Un Nuevo Modelo Para la Separación de Catalizadores Homogéneos de Sus Sustratos y Productos de Reacción, Como Ha Quedado Demostrado en la Oxidación Química de Alcanos y Alquenos*

La catálisis de dos fases con flúor (Fluorous Biphasic Catalysis, FBC) es un nuevo concepto de catálisis homogénea, en el que el catalizador soluble en fluorocarburos y los sustratos/productos residen en fases distintas. El trabajo del Dr. Richard H. Fish, del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, presenta la síntesis de un ligando original con configuración de flúor en cola de caballo (fluoroponytailed), tris-N-(4,4,5,5,6,6,7,7,8,8,9,9,10,10,11,11,11-heptadecafluoro-undecilo)-1,4,7-triaza-ciclononano ( $R_f$ TACN), que es soluble en los alcanos perfluorados  $[Mn(O_2C(CH_2)_2C_8F_{17})_2]$  y  $[CO(O_2C(CH_2)_2C_8F_{17})_2]$ . Los resultados iniciales de la funcionalización (oxidación) de alcanos/alquenos utilizan complejos de fase flúor generada in situ y usan  $R_fMn_2+-R_fTACN$  soluble y  $R_fCO_2+-R_fTACN$ . Dichos resultados crean el complejo ( $R_f = C_8F_{17}$ ) como el precatalizador, en presencia de hidroperóxido de t-butilo (t-BuOOH) y  $O_2$  gaseoso como oxidantes. Asimismo, dichos resultados manifiestan que alcoholes, aldehídos y cetonas pueden ser preparados por ruta catalítica, y que los productos de oxidación y los precatalizadores solubles en fase flúor, efectivamente se encuentran en fases distintas. El que los disolventes de fluorocarburos sean relativamente atóxicos le facilita al concepto de FBC la entrada al régimen de la nueva “Química Verde” de compatibilidad ambiental, y por ende, lo convierte en una opción atractiva para una amplia gama de procesos industriales en pos de la producción catalítica suprema de importantes sustancias químicas orgánicas en todo el mundo.

## *Formación de Peróxido de Hidrógeno en Dióxido de Carbono*

Actualmente, el peróxido de hidrógeno se prepara mediante la hidrogenación y oxidación secuencial de la antraquinona-2-alquil. A pesar de que el  $H_2O_2$  es generalmente considerado como un reactivo verde, el proceso de la antraquinona genera varios flujos residuales a la vez que presenta faltas de eficiencia por concepto de materias primas y uso de energía. En el presente trabajo, se prepararon antraquinonas funcionalizadas (functionalized anthraquinones, FAQs) miscibles en dióxido de carbono, y ello posibilita la formación de peróxido de hidrógeno en  $CO_2$  líquido. El uso del  $CO_2$  como único disolvente del proceso atenúa algunos de los problemas ambientales y de ingeniería inherentes al proceso, entre los que se encuentran: a) evitar la contaminación del producto durante su recuperación por extracción líquida-líquida en agua, b) minimizar la degradación de la antraquinona durante la hidrogenación a través del control de la distribución del tiempo de residencia en el reactor, c) optimizar el rendimiento en cada reactor mediante la eliminación de las limitaciones del transporte de masa, lo que también disminuye la introducción de energía. El uso de  $CO_2$  como disolvente, no sólo brinda una ruta verde a la producción de peróxido de hidrógeno, sino que también a) posibilita la rentabilidad económica gracias a la capacidad de recuperar el producto sin tener que bajar la presión considerablemente, b) permite el reciclado fácil de la antraquinona funcionalizada, c) la operación se conduce bajo condiciones de relativa baja presión absoluta y de solución concentrada, debido a las características del diagrama de fase FAQ- $CO_2$ .

**Dr. Richard H. Fish,  
Lawrence Berkeley  
National Laboratory,  
University of California**

**Profesor Eric J.  
Beckman, Facultad de  
Ingeniería Química,  
University of  
Pittsburgh**

**Profesor James M. Tanko, Facultad de Química, Virginia Polytechnic Institute and State University**

## *Química Verde Por Medio del Uso de Fluidos Supercríticos y Radicales Libres*

El trabajo de investigación del Profesor James M. Tanko en Virginia Polytechnic Institute and State University explora el uso del dióxido de carbono supercrítico (Supercritical Carbon Dioxide, SC-CO<sub>2</sub>), como una alternativa para sustituir muchos disolventes tóxicos y/o ambientalmente peligrosos de uso común en la síntesis química. El proyecto ha demostrado que el SC-CO<sub>2</sub> representa una alternativa viable y “ambientalmente benigna” y que, desde una perspectiva química, existen numerosas ventajas en su uso. Este trabajo ha conducido al desarrollo de procesos químicos novedosos y ambientalmente compatibles para la funcionalización de hidrocarburos y la formación de enlaces C-C.

Gracias a que sus parámetros críticos (temperatura y presión) son moderados, el SC-CO<sub>2</sub> brinda un atractivo especial ya que es posible acceder al estado supercrítico sin incurrir en gastos desproporcionados de energía. La funcionalización de hidrocarburos recientemente desarrollada logra con un sola etapa de alto rendimiento, la transformación que normalmente requeriría etapas múltiples y el uso de reactivos tóxicos y ácidos y bases fuertes. Esta reacción se debe poder escalar con facilidad a aplicaciones a gran escala o industriales.

**Robin D. Rogers, Profesor, Facultad de Química y Director, "Center for Green Manufacturing", The University of Alabama.**

## *Ciencia y Tecnología Verdes de Separación: El Uso de Polímeros Benignos para Reemplazar VOCs en las Separaciones Cromatográficas Líquido/Líquido a Escala Industrial*

Un área de amplias oportunidades en la tecnología de ciencia e ingeniería química que ayudará a lograr las metas de la Visión Tecnológica 2020 (Technology Vision 2020), es el desarrollo de nuevas tecnologías de separación que eviten el uso de disolventes industriales inflamables y, por ende, eviten la generación de VOCs tóxicos. Si se usan en combinación con, o en sustitución de, procesos de producción pertinentes, dichas tecnologías contribuirán a prevenir la contaminación y a aumentar la seguridad. Las tecnologías propuestas se basan en el uso de polímeros de polietilenglicol solubles en agua, ya sea en sistemas acuosos de dos fases líquido/líquido (Aqueous Biphasic Systems, ABS), o en separaciones de resinas cromatográficas con extracción acuosa de dos fases (Aqueous Biphasic Extraction Chromatographic resins, ABEC). Se destacan dos aplicaciones a tecnologías patentadas: a) en la farmacología radiológica, para permitir el uso de isótopos de mayor limpieza irradiados con neutrones, en lugar de isótopos producidos por fisión; b) en la recuperación de terrenos contaminados, en los cuales se espera reducir flujos secundarios de desecho o reemplazar tecnologías convencionales. El enfoque utilizado en el desarrollo de estas tecnologías sugiere que las separaciones libres de VOCs tienen una aplicación industrial más variada. Trabajando dentro de la premisa de prevención de la contaminación, con la participación de la industria, es posible desarrollar y tener preparadas toda una serie de soluciones para resolver problemas de ciencia y tecnología verde de separación, a base del uso de polímeros de alta compatibilidad ambiental.

## *Síntesis in vivo de Precursores de Feromonas de Lepidópteros en Saccharomyces Cerevisiae: Un Proceso Económico para la Producción de Productos Efectivos, Atóxicos y Ambientalmente Seguros en el Control de Insectos*

Desde el arribo del DDT hace más de 50 años, los insecticidas neurotóxicos de amplio espectro han sido el medio primordial para el control de insectos. Esto ha tenido repercusiones económicas de importancia, tanto en la agricultura como en la salud pública. Inicialmente, el uso de insecticidas sintéticos produjo aumentos espectaculares en los rendimientos de las cosechas, así como en la supresión de algunos vectores de enfermedades humanas y animales. Sin embargo, el aumento de la resistencia a los insecticidas y el daño ambiental causado por los mismos fueron reconocidos muy pronto como serias desventajas de su uso. Hoy en día, las consecuencias en la salud humana ligadas al uso y la producción de insecticidas han sido ampliamente reconocidas. Entre estas se encuentran la aguda toxicidad a organismos que no eran el objetivo original (incluyendo a los trabajadores que aplican insecticidas), su persistencia en la biosfera y la considerable contaminación producida en el lugar de origen que conlleva su producción. A pesar de dichas consecuencias, la liberación al medio ambiente de ingredientes activos de insecticidas es enorme a escala mundial, tan sólo en los Estados Unidos equivale a más de 400 millones kg/año.

Las feromonas se han usado en el control de insectos en todo el mundo por más de 15 años. A diferencia de los insecticidas convencionales de amplio espectro, las feromonas no son tóxicas y poseen alta especificidad hacia las especies que se desea controlar. Desafortunadamente, tanto su efectividad como su selectividad dependen de un alto grado de pureza química y de especificidad estérica, lo que causa que su síntesis sea costosa. Este factor ha limitado su éxito comercial, si se las compara con los insecticidas convencionales. Estados Unidos representa el mercado más grande de los productos de obstrucción a base de feromonas, y el monto total es inferior a \$50 millones/año. Como punto de referencia, el mercado de insecticidas a nivel mundial es superior a los \$6 billones/año. La meta del trabajo del Dr. Douglas C. Knipple de Cornell University, es desarrollar un proceso más económico para la síntesis de feromonas. Con este objetivo, el Dr. Knipple ha propuesto la utilización de tecnología genética y molecular. El concepto consiste en clonar y secretar funcionalmente, in vivo, genes codificadores de enzimas desaturasas que se encuentran en las glándulas feromonas de la polilla hembra adulta. Dichas enzimas catalizan la formación de sustancias intermedias no saturadas, cruciales en el proceso de producción de las feromonas. El logro de los objetivos técnicos del presente trabajo contribuirá sustancial y metodológicamente al desarrollo de un proceso biosintético alternativo para la producción comercial de feromonas. El logro de este último objetivo aumentará la competitividad económica de los productos de feromonas actualmente disponibles, y podría representar la fuerza impulsora para la expansión de esta prometedora tecnología de control de insectos hacia otros mercados.

## *Extracción y Recuperación de Metales Usando Dióxido de Carbono*

La recuperación de metales de soluciones diluidas, ya sea de matrices sólidas o líquidas, continúa representando un desafío técnico y económico. Actualmente existen métodos para extraer metales de cualquier tipo de matriz; sin embargo, estos métodos consumen cantidades importantes de reactivos y a la vez pueden crear múltiples flujos residuales. La tecnología

**Dr. Douglas C. Knipple,**  
Facultad de  
Entomología, Cornell  
University

**Eric J. Beckman,**  
Facultad de Ingeniería  
Química, University of  
Pittsburgh

desarrollada en los últimos tres años en el laboratorio de Eric J. Beckman, de la Universidad de Pittsburgh, posibilita la aplicación eficiente del CO<sub>2</sub> de alta compatibilidad ambiental, a cierto número de problemas de separación que involucran metales. Por ejemplo, mezclas de dos fases de CO<sub>2</sub> y agua se utilizaron como medios de lixiviación con ácidos verdes. En un caso específico de fabricación de acero, se extrajeron metales de un residuo del proceso, para luego ser recuperados en forma de carbonatos metálicos empleando la despresurización. Los metales de dicho proceso se extrajeron y recuperaron usando solamente agua y CO<sub>2</sub>, recuperándose este último como sólido. Además, el CO<sub>2</sub> puede reemplazar el disolvente orgánico que se usa actualmente en la refinación de metales preciosos, por medio de la síntesis de agentes de transferencia de fase miscibles en CO<sub>2</sub>. Asimismo, el grado de sensibilidad a la presión en el comportamiento de fases del sistema CO<sub>2</sub>-mezcla puede llegar a permitir importantes simplificaciones del proceso. Por último, se han usado agentes quelantes solubles en CO<sub>2</sub> para extraer metales tóxicos de efluentes ácidos, como los encontrados en operaciones de deposición metálica.

### *Uso de Microondas para Realzar el Desempeño de Reacciones Orgánicas (Microwave-Induced Organic Reaction Enhancement, MORE) Empleadas en la Síntesis Química con Compatibilidad Ecológica*

La síntesis química con asistencia de microondas es una tecnología incipiente de gran potencial. El Dr. Ajay K. Bose en el Stevens Institute of Technology, ha hecho contribuciones a este campo empleando métodos no tradicionales, los cuales utilizan hornos de microondas domésticos para efectuar una amplia variedad de reacciones orgánicas rápidas, seguras y compatibles con el ambiente. El grupo del Dr. Bose's ha demostrado que, en una amplia variedad de reacciones, la irradiación de microondas sobre mezclas reactivas en recipientes abiertos de vidrio puede conducir a lograr mayores velocidades de reacción, menor número de productos secundarios y un control estérico más alto. Dado que las microondas interactúan directamente con las moléculas bipolares, no hay gran necesidad de un medio líquido para transmitir el calor de las paredes del recipiente, como sucede en el caso del calentamiento convencional. Las características esenciales de los métodos químicos que usan microondas para realzar el desempeño de reacciones orgánicas (MORE) se componen del uso limitado de disolventes (o no disolventes) de alto punto de ebullición—en cantidad suficiente para convertir la mezcla reactiva en una pasta aguada a temperatura ambiente—y en el control eficiente de la administración de energía de microondas para alcanzar la temperatura de reacción deseada, sin dar lugar a que la mezcla reactiva se aproxime a su punto de ebullición. Unos cuantos cientos de gramos de dichas reacciones se pueden completar en pocos minutos. La síntesis a mayor escala debe ser posible si se utiliza equipo comercial de microondas del tamaño empleado por la industria de la alimentación.

La eliminación o reducción del uso de disolventes orgánicos, así como la pureza superior de los productos formados, conlleva una menor producción de desechos químicos (v.gr. disolventes orgánicos usados en la reacción y materiales de recristalización y cromatográficos usados en la purificación). Con el objeto de demostrar la 'economía atómica' (mayor rendimiento de producto por sustancias químicas empleadas) y la versatilidad de los métodos químicos MORE, el grupo del Dr. Bose's ha conducido una síntesis de varias etapas (incluso con reacciones de dos o más etapas en un mismo recipiente) de sustancias intermedias avanzadas, para producir antibióticos de lactama, azúcares amínicos, alcaloides y otros compuestos biológicamente activos como el taxol. El grupo también ha descubierto un método de nitración eficiente por medio de la irradiación con microondas que es compatible



con la ecología; ha observado la aceleración moderada de reacciones quimioenzimáticas sujetas a irradiación de microondas de baja intensidad; y ha ideado una síntesis de oligopéptidos de muy alta compatibilidad ecológica que no requiere agentes convencionales de formación de enlaces péptidos. En resumen, los métodos químicos MORE pueden lograr una reducción muy importante del foco contaminante para síntesis a pequeña y a gran escala; de este modo se puede alcanzar un desarrollo y producción de medicamentos para salvar vidas que sea más compatibles con la ecología.

### *El Centro Nacional de Química a Micro Escala: Líder en la Ejecución de la Tecnología de Micro Escala*

La definición más sencilla de Química Verde es “el uso de técnicas y métodos químicos para reducir o eliminar el empleo o la generación de materias primas, productos, productos secundarios, disolventes, reactivos, etc. que amenazan a la salud humana o al medio ambiente.” El concepto de Química Verde, si bien se aplica de manera más común al ambiente industrial, también se ha incorporado al ámbito educativo por medio de la aplicación de métodos de laboratorio a micro escala. Las técnicas de química a micro escala se reflejan en un programa educativo a nivel de laboratorio que logra los siguientes objetivos: a) la reducción de desechos en la fuente de emisión; b) la eliminación de emisiones tóxicas, de fuego y de riesgos de accidente; c) el realce de un ambiente sano de laboratorio; d) el ahorro importante de costos. La metodología a micro escala utiliza cantidades minúsculas de sustancias químicas (un promedio de 50 mg de sólidos, 500 µl de líquidos), nuevos métodos para evaluar las propiedades físicas, condiciones alternativas de reacción de mayor moderación y seguridad, disolventes alternativos benignos, así como diferentes rutas sintéticas que a menudo usan técnicas de catálisis u otras de mayor seguridad ambiental. El National Microscale Chemistry Center (NMC<sub>2</sub>) se fundó en Merrimack College en 1993. El centro ofrece, a maestros y a químicos de la industria, talleres, capacitación y otras formas de apoyo en el aprendizaje de técnicas de química a micro escala. En la actualidad, más de 2,000 instituciones en los Estados Unidos han adoptado esta perspectiva, ya sea en forma total o parcial. Asimismo, el NMC<sub>2</sub> es el líder de un consorcio internacional que fomenta la revolución de la micro escala y la química verde.

### *Nuevo Análisis de Azúcares Reductoras*

El análisis químico de las azúcares reductoras [azúcares que contienen grupos semiacetales o semiquetales] es una práctica común en laboratorios de investigación y de instrucción. Los métodos actualmente disponibles se basan en la reacción de iones de cobre en una solución alcalina caliente con reactivos complejadores y de coloración. Generalmente se usa el tartrato como agente complejador, y una solución de iones de molibdeno y arseniados para el reactivo de coloración [el reactivo es molibdato arsénico]. El reactivo molibdato arsénico tiene una vida de almacenamiento limitada y es extremadamente tóxico. Esta es una circunstancia sumamente problemática, tanto para su empleo como para la eliminación de la solución del análisis. Dicha solución tiene que ser guardada como desecho y eliminada utilizando una vía comercial. El análisis aquí descrito consta de un procedimiento original que utiliza un agente complejador más estable (EDTA), reemplazando al arseniato con fosfato en el complejo de la coloración. Este análisis produce materiales mucho más benignos.

**Dr. Mono M. Singh,  
National Microscale  
Chemistry Center,  
Merrimack College**

**H. Alan Rowe, Facultad  
de Química/Centro de  
Investigación de  
Materiales, Norfolk  
State University**

## *Nuevas Aplicaciones de Un Polímero Compuesto Derivado de Materiales Renovables*

El costo de la corrosión metálica en Estados Unidos es aproximadamente 4.2% del producto nacional bruto, esto es, más de \$250 billones de dólares en 1996. Para extender la longevidad del material especializado los recubrimientos superficiales deben ser remozados, cumpliendo así con los requisitos de diseño. La renovación del recubrimiento involucra la remoción de la pintura anterior (decapado) y la aplicación de una nueva capa de pintura. Los métodos tradicionales de decapado utilizan el disolvente cloruro de metileno, un disolvente orgánico. El cloruro de metileno es una sustancia cancerígena que conlleva riesgos a la salud del personal de mantenimiento. Por lo tanto, la industria de mantenimiento de aeronaves ha iniciado el uso de métodos alternativos en el decapado. Un método que ha mostrado ser confiable es el decapado en seco (dry-blasting) que elimina la capa de pintura mecánicamente. Sin embargo, en las bases militares donde se renueva la pintura de las aeronaves, se ha observado que el proceso de decapado en seco es la mayor fuente generadora de desechos sólidos.

El trabajo del Dr. Dharmaraj Raghavan, de la Universidad Howard University, se encamina al desarrollo de una técnica de eliminación de revestimientos orgánicos a base de un medio plástico renovable. Con dicho enfoque se desarrolló un proceso degradable de decapado en seco que elimina del 90 al 97% del monto de desecho, mediante la degradación biológica o química del material removido. La degradación del material sólido de desecho (a base del polímero renovable) da por resultado disolventes especializados no nocivos al medio ambiente que, además, son productos químicos de valor agregado. El diseño de membranas representa otra aplicación en la cual se puede aprovechar la degradabilidad del polímero compuesto renovable. El mercado mundial anual de membranas se acerca al billón de dólares. Las membranas se han aplicado en campos diversos en la industria, pero en especial en la industria de la separación. Los disolventes que se usan en el diseño de dichas membranas incluyen acetona, sulfóxido de dimetilo, formamida de dimetilo y acetamida de dimetilo.

La exposición de los trabajadores a los disolventes cancerígenos durante la fabricación de las membranas representa una preocupación frecuente. Para atacar estas preocupaciones, el Dr. Raghavan ha diseñado un polímero compuesto basado en un compatibilizador, en el cual el componente mayoritario es un polímero renovable y el minoritario es un polímero sintético no degradable. La tecnología se fundamenta en la degradabilidad del polímero renovable en un sistema de disolvente prótico o enzimático, así como en la capacidad de formular una microestructura porosa del polímero sintético. La degradación del polímero renovable tiene como resultado la producción de sustancias químicas de ambientalmente seguras, las cuales pueden ser usadas en la síntesis del polímero renovable.

## *Tecnologías Novedosas de Análisis Químico de Alta Velocidad Utilizando Cromatografía Líquida Acuosa, Spectroscopia Raman, y Cromatografía de Gases*

El trabajo de investigación del Dr. Robert E. Synovec se enfoca al desarrollo de nuevas tecnologías de análisis químico que utilizan métodos cromatográficos líquidos y gaseosos, así como otras metodologías afines que son consistentes con los objetivos del Programa de Química Verde de prevención de la contaminación. Los objetivos de estas investigaciones han sido desarrollar instrumentación y métodos cromatográficos nuevos y originales para el laboratorio, campo de actividad y análisis de procesos que reducen la toxicidad y el volumen de materiales consumibles usados en los análisis de separación y, al mismo tiempo, mejorar el funcionamiento y la información que se obtienen del instrumento de análisis. Dichos

objetivos constituyen una esfera de acción de considerable importancia en el Center for Process Analytical Chemistry (CPAC). Los instrumentos de análisis químico y las metodologías producidas por dichas iniciativas de investigación proporcionan beneficios a la industria de los EEUU, a través de una mayor aplicabilidad de la cromatografía líquida y de gas en una variedad de ámbitos: métodos rutinarios y automatizados de la EPA, análisis de procesos químicos industriales, análisis convencional de laboratorio y vigilancia del desempeño químico a distancia. El resultado clave de estas tecnologías es la reducción de la contaminación industrial a través de la minimización de los desechos químicos, usando un control óptimo de los procesos.

### *Nuevos Recubrimientos In Situ de Zeolita en Monolitos*

Un nuevo método in situ para depositar catalizadores de zeolita sin aglomerante en sistemas de reactores con monolitos (estructuras porosas de cerámica impregnadas de catalizador) ha sido desarrollada en la Universidad de Cincinnati. Los recubrimientos in situ de zeolitas sobre sustratos monolitos sirven para maximizar la efectividad de los aspectos “selectivos de forma” de los catalizadores de zeolita. Esta tecnología se puede aplicar empleando una amplia variedad de zeolitas de uso generalizado en la industria petroquímica actual. Se ha demostrado que las zeolitas sin aglomerantes que se usan en monolitos exhiben un desempeño superior, ya que minimizan la formación de hidrocarburos de alto peso molecular y, por ende, poseen limitaciones difusionales mínimas. Se llevaron a cabo dos estudios específicos para demostrar la efectividad de estas zeolitas sin aglomerantes en monolitos: La conversión de metanol en hidrocarburos de gasolina y el craqueo (cracking) catalítico del n-hexano. Las principales ventajas técnicas de los reactores con monolitos son la baja caída de presión, el desempeño superior debido a un menor grado de oclusión (taponamiento) y de canalización, además de un alto cociente de superficie por unidad de volumen del reactor. Esta tecnología también brinda muchas ventajas para la salud humana y el medio ambiente. Por ejemplo, en un reactor con monolito, el alcohol que se obtiene de la fermentación de desechos agrícolas se puede convertir en hidrocarburos con nivel molecular de gasolina. Además de producir combustibles útiles, esta reacción no produce hidrocarburos mayores que el C<sub>12</sub>, los cuales serían difíciles de quemar y presentan bajos cocientes de biodegradación si se liberan al suelo y al agua subterránea. Asimismo, esta fuente alternativa de combustible ahorra recursos no renovables como el petróleo y el gas natural, al mismo tiempo que reduce la dependencia del petróleo crudo importado. Como consecuencia del menor contenido de hidrocarburos pesados, estos combustibles se queman más limpiamente y no aportan cantidades adicionales de dióxido de carbono al medio ambiente.

### *Un Nuevo Proceso de Alquilación del 1-butenolisobutano Catalizado por Ácido Sólido*

Las reacciones de alquilación se emplean para convertir gases ligeros de refinería (C3-C5) en compuestos de gasolina (C7-C9). Los alquilatos constituyen aproximadamente el 15% de la fuente de gasolina de los EEUU. Actualmente, la alquilación industrial utiliza como catalizadores ya sea al ácido fluorhídrico o el ácido sulfúrico. Durante más de tres décadas se han evaluado numerosos ácidos sólidos como catalizadores sustitutos de mayor seguridad ambiental que los ácidos líquidos. No obstante, los catalizadores de ácido sólido sufren una rápida desactivación debido a la retención de coque en los poros. En medios de reacción de fase gaseosa, los precursores pesados del coque (como los oligómeros olefínicos) son de baja solubilidad. En medios de reacción de fase líquida, el transporte de los precursores de coque

**Dr. Jimmy E. Antia y Dr. Rakesh Govind,**  
Facultad de Ingeniería  
Química, University of  
Cincinnati

**Dr. Bala Subramaniam,**  
Facultad de Química e  
Ingeniería Petrolera,  
University of Kansas

**Dr. Nasrin R. Khalili,  
Hamid Arastoopour, y  
Laura Walhof, Facultad  
de Química e Ingeniería  
Ambiental, Illinois  
Institute of Technology**

hacia el exterior de los poros del catalizador es restringida severamente, lo que resulta en su readsorción y transformación en coque consolidado. En la Universidad de Kansas, el Dr. Bala Subramaniam trabaja en la utilización de medios de reacción supercríticos, que ofrecen una combinación excepcional de densidad al estilo líquido, y propiedades de transporte al estilo gas, para lograr la eliminación efectiva de los precursores del coque. Usando dióxido de carbono ( $P_c = 71.8 \text{ atm}$ ;  $T_c = 31.1 \text{ °C}$ ) como un solvente ambientalmente compatible, se llevó a cabo la alquilación del 1-butano/isobutano bajo condiciones supercríticas, y se obtuvo por resultado un producto alquilado virtualmente estable (pentanos trimetilicos y hexanos dimetilicos), en un reactor de cama fija sobre catalizadores ácidos (zeolita HY, circona sulfatada y Nafion) a lo largo de varios días. Por lo tanto, el proceso supercrítico a base del dióxido de carbono brinda una alternativa de mayor seguridad ambiental comparada con el proceso convencional de alquilación, a través de la eliminación del obstáculo tecnológico, que impide la aplicación de la catálisis de ácidos sólidos en los procesos de alquilación.

### *Un Nuevo Enfoque Sobre la Minimización de la Producción de Desechos: La Producción de Catalizadores o Adsorbentes/absorbentes a Base del Carbono Derivado de Sólidos Biológicos*

Los sólidos biológicos son productos secundarios de las plantas de tratamiento de aguas residuales, y actualmente representan una preocupación ambiental muy importante. Los problemas relacionados con el manejo y administración de los sólidos biológicos son: el contenido de sustancias nocivas, la gran cantidad de sólidos producidos, las dificultades que implica su tratamiento y las pocas rutas disponibles para su eliminación. Además, la producción de sólidos biológicos ha seguido aumentando a la par con el aumento de la población mundial. Los Estados Unidos generaron 9 millones de toneladas de sólidos biológicos en 1995, y se estima que para en el año 2000 producirán 11 millones/año. La transformación de los sólidos biológicos para su minimización y reciclado en las plantas de tratamiento de aguas residuales representa una idea original e innovadora.

Se desarrolló un proceso novedoso para convertir los sólidos biológicos en adsorbentes/absorbentes y catalizadores basados en el carbono. Las materias primas para el proceso son los sólidos biológicos producidos en una planta de tratamiento de aguas negras (Spring Brook Water Reclamation Center en Naperville, Illinois), y los lodos de tratamiento de aguas residuales generados por la industria del papel (Fort James Corporation en Green Bay, Wisconsin). La investigación llevada a cabo en el Instituto de Tecnología de Illinois propone dos ideas originales para la producción de carbón activado a partir del material carbonoso de desecho: 1) bajo un ambiente de condiciones controladas, la exposición a la luz y la humedad de la materia prima químicamente activada puede enriquecer en aproximadamente 20% la estructura porosa de la superficie del carbón activado; y 2) el uso de microondas para el secado de los lodos puede producir ahorros de tiempo y de energía hasta de 98%. Las propiedades superficiales del carbón producido se controlaron eficazmente mediante la variación de los procesos de activación física, química y de superficie. Este proyecto exhibe un potencial enorme para mitigar los serios problemas ambientales relacionados con la producción y eliminación masiva de lodos no tratados, a través del desarrollo de un proceso que convierte dichos lodos en carbón activado y catalizador.

## *La Superación de las Dificultades de Procesamiento de la Biomasa Celulósica y la Visualización del Papel de la Biomasa en Un Mundo Sustentable*

Este proyecto trata las cuestiones técnicas y problemática futura asociadas al empleo de la biomasa vegetal, la única fuente sustentable de combustibles orgánicos, productos químicos y materiales. El proyecto trata múltiples temas relacionados con el procesamiento integral, un descubrimiento potencial de amplia aplicación en el procesamiento de la celulosa, el cual comprende la producción de enzimas de la celulosa, la hidrólisis de los componentes de la biomasa y la fermentación de los carbohidratos resultantes; todo en un solo paso. Los componentes adicionales del proyecto, que tienen por objeto superar las dificultades de procesamiento de la biomasa celulósica, comprenden aspectos de enzimología y microbiología aplicadas, la cinética enzimática y el diseño de un reactor para la hidrólisis enzimática de la celulosa, el pretratamiento de la biomasa con agua caliente a presión así como la conversión de lodos de papel. El diseño del proceso y el trabajo analítico desarrollado fundamentan la aseveración de que el procesamiento avanzado de la biomasa tiene el potencial para ser competitivo con los costos de procesamiento del petróleo, incluso cuando los precios del mismo se encuentran en niveles bajos. Los resultados del análisis de los recursos y los procedimientos, identifican y exploran el potencial del procesamiento de la biomasa para producir emisiones netas de CO<sub>2</sub> casi nulas, dan prioridad a los usos de los grandes recursos de biomasa—que son extensos pero también limitados—y, reconcilian el amplio rango de estimaciones sobre la magnitud de la disponibilidad de la biomasa para el uso industrial.

## *Tintas Litográficas Que Previenen la Contaminación*

Las técnicas de imprenta tradicionales emplean disolventes que contribuyen a la contaminación por evaporación y por procesos de limpieza. El Profesor Cussler ha desarrollado una nueva tinta que elimina estas emisiones. La tinta trabaja convencionalmente a valores de pH inferiores a 7, pero se transforma en su propio agente de emulsión a un pH más alto. Como resultado, puede ser retirada de las prensas de imprenta con una base acuosa. La cinética de la emulsión no puede predecirse a partir de las correlaciones convencionales. Más bien, sigue el comportamiento de una reacción de interfaz entre el hidróxido y la resina de la tinta, el cual produce una capa jabonosa que puede ser removida con la aplicación de un movimiento de corte. Los resultados sugieren una estrategia para el desarrollo de otras tecnologías que prevengan la contaminación.

## *Química de Pequeña Escala: La Prevención de la Contaminación en los Programas de Instrucción de Química Inorgánica*

Las técnicas de química de pequeña escala (Small Scale Chemistry, SSC), desarrolladas por el Dr. Stephen Thompson de Colorado State University, aplican la prevención de la contaminación, la minimización de los desechos y la seguridad del estudiante en la etapa de diseño, en lugar de controlar estos factores en la etapa de eliminación de desechos. Las técnicas de SSC poseen características inherentes a la “química verde” por su incorporación de principios y metodologías de reducción de emisiones. Las técnicas y los experimentos de SSC reducen sustancialmente los residuos, así como los riesgos de exposición a productos químicos para los profesores y estudiantes. Esto se logra mediante experimentos y metodologías innovadoras, las cuales emplean condiciones de reacción y rutas de síntesis

**Dr. Lee Lynd, Facultad de Ingeniería, Dartmouth College**

**Profesor E.L. Cussler, Facultad de Ingeniería Química y Ciencia de los Materiales, University of Minnesota**

**Dr. Stephen Thompson, Centro para la Educación en Ciencias, Matemáticas y Tecnología, Colorado State University**

alternativos. Los conceptos de las SSC evolucionaron como una solución a muchos de los problemas graves (v.gr. seguridad, eliminación de residuos y pedagogía) relacionados a la enseñanza de la química en laboratorios. Gotas de productos químicos que hacen las veces de sus propios recipientes reemplazan litros de residuos químicos peligrosos almacenados en frágiles envases de vidrio. El empleo innovador de artículos de plásticos de alta tecnología diseñados para investigación en genética, reduce costos y a la vez mejora la seguridad y la sofisticación. Las técnicas y metodologías de las SSC proporcionan un modo realista de abordar la química verde y permiten a las instituciones académicas establecer cambios permanentes de operación. Las SSC proporcionan una solución de fácil implementación, económica y de extensa aplicación en el manejo de posibles problemas ambientales que enfrentan la mayoría de los programas de química en las universidades.

**Dr. Rajender S. Varma,**  
**Instituto Regional de**  
**Estudios Ambientales**  
**de Texas, Sam Houston**  
**State University**

### *Síntesis Química Sin Disolventes*

El Dr. Rajender S. Varma de Sam Houston State University desarrolló un procedimiento de síntesis sin disolventes y benigno con el medio ambiente. Este procedimiento emplea reactivos puros, ya sea en presencia de un catalizador o catalizados por las superficies de soportes reciclables, tales como el aluminio, la sílice, la arcilla y, superficies revestidas como la sílice de  $\text{NaIO}_4$ , la arcilla de nitrato y hierro (III) (clayfen) o la arcilla de persulfato. Esto tiene lugar bajo condiciones de irradiación con microondas. Como resultado, se promueve la reducción del uso de disolventes en la fuente productora y la disminución del uso excesivo de productos químicos en la industria manufacturera. Esta estrategia para prevenir la contaminación está orientada a las reacciones industriales de partición molecular, condensación, oxidación y ciclado, las cuales actualmente emplean sustancias químicas tóxicas, corrosivas e irritantes y producen residuos peligrosos. Esta tecnología tiene sus fundamentos en la ciencia de los materiales, el modelado molecular y conocimientos de química orgánica sintética. Mediante la producción eficiente de productos intermedios valiosos (enonas, iminas, enaminas, nitroalquenos, compuestos de azufre oxidados y heterociclos), proporciona soluciones a la comunidad química en general (polímeros, farmacéutica y química fina). Además, esta tecnología educa a una generación de científicos jóvenes en la prevención de la contaminación y tiene el potencial para extenderse a la destrucción in situ de contaminantes y residuos tóxicos.

**Dra. Nancy W.Y. Ho,**  
**Laboratorio de**  
**Ingeniería de Recursos**  
**Renovables, Purdue**  
**University**

### *El Desarrollo Exitoso de Microorganismos Diseñados Genéticamente, Libres de Riesgos y Fáciles de Usar para la Producción Eficaz de Compuestos Químicos Compatibles con el Medio Ambiente, a Partir de la Biomasa Renovable Mediante el Empleo de Metodologías de Química Verde*

El etanol es un eficaz combustible biológico de fuentes no fósiles utilizado para el transporte, es compatible con el medio ambiente y produce mucho menos contaminantes que los combustibles petroquímicos. Además, el etanol se puede producir a partir de biomasa celulósica renovable, abundante y disponible localmente, lo que contribuye a reducir la dependencia de los EEUU de la importación de petróleo. Si bien el etanol ha sido producido mediante fermentación de materias primas con levaduras *Saccharomyces* desde la época preindustrial, la conversión de la biomasa celulósica en etanol ha presentado grandes dificultades. Ello se debe, por una parte, a la presencia de dos azúcares básicos, glucosa y xilosa en la celu-

losa y, por otra, a que las levaduras *Saccharomyces* no pueden convertir la xilosa en etanol por fermentación. En Purdue University, La Dra. Ho ha desarrollado genéticamente levaduras *Saccharomyces*, las cuales no solo fermentan la xilosa, sino que también cofermentan la xilosa y la glucosa para producir etanol. Las levaduras diseñadas genéticamente producen, como mínimo, un 30% más de etanol a partir de la biomasa celulósica que sus progenitores no transformados.

El ácido láctico, una importante materia prima industrial para la producción de plásticos biodegradables y económicos a partir de biomasa renovable, se produce tradicionalmente por medio de la fermentación de la glucosa con bacterias lácticas. Sin embargo, estas bacterias crecen muy lentamente y no toleran concentraciones de 1 a 2% de ácido láctico. El grupo de la Dra. Ho transformó con éxito un microorganismo seguro y efectivo, para que pueda producir ácido láctico con una eficiencia más de dos veces superior a la de las bacterias lácticas. Estos ejemplos demuestran que la tecnología de la ingeniería genética, guiada por los principios de la química verde, es una herramienta muy poderosa en el diseño de microorganismos para la producción de importantes compuestos químicos a partir de la biomasa renovable.

### *Tintes Sintéticos Sustentados por Consideraciones Toxicológicas*

Esta propuesta hace referencia al diseño de alternativas no tóxicas para los tintes de empleo actual basados en complejos metálicos, los cuales contienen metales considerados como contaminantes prioritarios (priority pollutants). Específicamente, los tintes de complejos del hierro fueron sintetizados para sustituir a tintes basados en complejos metálicos, los cuales actualmente se emplean en situaciones que requieren colorantes con muy alta fotoestabilidad y resistencia a la remoción en ambiente húmedo. Los tintes investigados son complejos de ligandos del hierro (Fe), los cuales proporcionan los fundamentos para un enfoque preventivo de la contaminación en problemas del medio ambiente, asociados a la producción y al uso de tintes orgánicos basados en el cromo (Cr) y el cobalto (Co). Como punto de partida para este estudio, el grupo de Freeman sintetizó y evaluó complejos del Fe análogos a los tintes comerciales de azo y formazan que contienen Cr ó Co. El sulfato de Fe(II) se empleó como agente metalizador ya que, según algunos estudios, ha exhibido baja toxicidad acuática.

Esta investigación condujo al descubrimiento de alternativas no tóxicas para los tintes negros comerciales basados en alto volumen de cromo, sin comprometer la deseada fotoestabilidad. Además, se descubrieron tintes rojos y azules de complejos 1:2 de Fe (1 átomo de hierro por cada 2 moléculas de tinte), un logro hasta ahora no publicado y que se suponía imposible. También se desarrolló una explicación para la opacidad de los colores, que tradicionalmente han caracterizado a los tintes de complejos del Fe y, de este modo, se proporcionó una base para mayores avances en este campo.

### *Hacia una Metodología de Síntesis “Sin Reactivos” y con Mayor “Rendimiento Efectivo de Masa” para Aplicaciones Farmacéuticas Mediante Oxidaciones y Reducciones Enzimáticas y Electroquímicas Secuenciales*

En este trabajo, la prevención de la emisión de contaminantes se aborda mediante el reemplazo de los métodos actuales de oxidación y reducción (todos basados en reactivos metálicos) con técnicas enzimáticas y electroquímicas (todas conducidas en agua, alcohol u

**Harold S. Freeman,  
Profesor Ciba-Geigy de  
Química de los Tintes,  
North Carolina State  
University**

**Profesor Thomas  
Hudlicky, Facultad de  
Química, University of  
Florida**

otro disolvente aceptable para el medio ambiente). La combinación de transformaciones enzimáticas con la electroquímica, junto con un diseño eficiente, abrevia de modo inigualado la obtención de productos farmacéuticos a partir de metabolitos del tipo areno cis-diol. Los compuestos aromáticos halogenados, que en muchos casos se consideran dañinos para el medio ambiente, son convertidos enzimáticamente en sintones útiles y retirados por completo del conjunto de desechos peligrosos. Este proceso tiene el beneficio económico adicional de ser una conversión estratégica que no se produciría mediante la incineración de tales compuestos. Se debe enfatizar que la conversión enzimática de materiales aromáticos tóxicos tiene lugar en la primera etapa de la ruta de síntesis y que todos los productos intermedios son inocuos. La masa residual de los procesos enzimáticos o electroquímicos se considera apta para su eliminación a través del sistema de alcantarillado municipal, lo que reduce aún más la cantidad real de residuos. La síntesis de un ciclitol homoquiral a partir del halobenzeno, mediante varias etapas y esencialmente sin reactivos, sirve como ejemplo ilustrativo de esta tecnología. Dado que la longitud del proceso de síntesis tiene una influencia directa en la masa de residuos acumulados durante el mismo, una síntesis corta y eficiente conduce a una menor acumulación de residuos, lo que reduce la contaminación en la fuente productora.

**Profesor David E. Bergbreiter, Facultad de Química, Texas A&M University.**

### *El uso de Polímeros Solubles para Recuperar Catalizadores y Controlar Reacciones Catalíticas*

En vista de los problemas vinculados al uso de disolventes orgánicos y a los costos asociados con la purificación y remoción o eliminación de productos secundarios, las nuevas estrategias para el uso y recuperación de catalizadores homogéneos en la práctica de los procesos químicos, despiertan un interés creciente. Esta presentación reconoce el trabajo realizado por el grupo de Bergbreiter en Texas A&M University, el cual emplea ligandos poliméricos y nuevas estrategias de separación para producir la catálisis homogénea. Esta tecnología hace uso de las reconocidas propiedades de los polímeros para recuperar y separar catalizadores y ligandos para su reutilización. Mediante el empleo de una química de polímeros relativamente simple, una amplia gama de conocidos catalizadores homogéneos puede ser incorporada a estos polímeros sin producir una alteración significativa de su reactividad o de su selectividad. Estrategias de separación y recuperación que emplean la separación sólido/líquido de polímeros precipitados, o separaciones líquido/líquido de soluciones de polímero/soluciones de producto, quedaron plenamente demostradas. Asimismo, este trabajo demostró la utilidad de los polímeros lineales para la formación de catalizadores solubles en fase acuosa y de flúor. Finalmente, esta tecnología también demostró un enfoque singular para regular y controlar reacciones, empleando ligandos solubles e “inteligentes” adheridos al polímero que se precipitan al calentarse.

**Profesor Alan W. Weimer, Facultad de Ingeniería Química, University of Colorado**

### *Proceso de Nitruración por Combustión en Cama Fluidificada Vibratoria Mediante el Uso de Energía Solar Concentrada*

La mejor manera de manejar la contaminación de procesos industriales es diseñar alternativas que minimizan su producción. Esto es particularmente cierto en la síntesis de compuestos químicos. Nuevos conceptos desarrollados en la Universidad de Colorado atacan el problema a cuatro niveles distintos: maximizando los rendimientos, evitando el postprocesamiento, empleando precursores no tóxicos y minimizando el consumo energético. El Profesor Weimer y sus estudiantes han desarrollado sistemas modelo de síntesis



de cerámicas que tienen alto rendimiento, evitan el desarrollo de partículas con forma de aguja inducido por termoforesis, emplean polvos metálicos y nitrógeno como precursores y usan luz solar como fuente energética para las reacciones de síntesis. Para demostrar el concepto se produjeron dos materiales de gran importancia tecnológica, polvos de alta calidad de nitruro de silicio y nitruro de aluminio. El empleo de una fuente dirigida de energía en la síntesis produce materiales de más alta calidad y reduce los costos de uso de energía, reduciendo, a su vez, la contaminación asociada con las formas tradicionales de calentamiento. El empleo de luz solar concentrada para suministrar la energía necesaria, en lugar de un rayo láser o una lámpara de arco, reduce aún más el consumo de combustibles fósiles.

### *La Iniciativa de Salud, Seguridad y Prevención de la Contaminación del Estado de Washington Aplicada en los Laboratorios Académicos de Química*

En 1997, el Departamento de Ecología del Estado de Washington y el Distrito No. 101 de Servicios Escolares comenzaron a planear talleres para entrenar a los profesores de química en el empleo de técnicas de química verde, en problemas de salud y seguridad y en el manejo apropiado de desechos tóxicos. Los talleres proporcionaron información detallada sobre las mejores prácticas de laboratorio para la reducción del riesgo de accidentes, el cuidado de la salud y la seguridad de los empleados y los estudiantes, la reducción del empleo de sustancias peligrosas y la disminución de los desechos tóxicos. También, se enseñaron técnicas de química verde, como la química a microescala y se condujeron experimentos que sólo emplean sustancias no tóxicas o productos químicos de toxicidad reducida. Los talleres también versaron sobre las reglamentaciones ambientales, así como las de salud y seguridad que las escuelas deben observar en el Estado de Washington. En los talleres se editó y se usó la Guía Detallada para el Mejor Manejo del Laboratorio.

Se formó un equipo coordinado de múltiples dependencias estatales para planear e implementar los talleres. Durante la primavera de 1998, se efectuaron seis talleres en todo el estado de Washington. Los talleres, a los que asistieron más de 300 profesores de química de todo el estado, fueron desarrollados y realizados por las dependencias de Ecología, Desarrollo Ecológicamente Sustentable (Ecologically Sustainable Development, ESD), OSPI, el Departamento de Salud y el Departamento de Trabajo e Industria del Estado de Washington.

La oficina de Ecología entrenó a seis miembros de la dependencia y a miembros del Programa sobre Desechos Tóxicos del Condado de King (el área metropolitana) para llevar a cabo visitas a escuelas de nivel intermedio y secundarias de todo el estado de Washington. El equipo de laboratorio fue entrenado en cómo: 1) organizar productos químicos en sistemas apropiados de almacenamiento; 2) etiquetar o retirar productos químicos que son extremadamente peligrosos, inestables, están en malas condiciones o que sobran; 3) ordenar los desechos químicos dentro de las categorías de transporte del Departamento de Transportación; 4) empacar en el laboratorio productos químicos de desecho para su transporte y eliminación; 5) explicar el manejo y la eliminación apropiados de los desechos peligrosos; 6) ayudar a la preparación de un plan de higiene para el laboratorio; 7) ayudar en la creación de un inventario químico actualizado. Hasta la fecha, se han visitado alrededor de 100 escuelas.

## *Empleo de Desechos de Biomasa para la Producción de un Descongelante Biodegradable para Carreteras*

La producción eficiente de combustibles y productos químicos a partir de la biomasa y los residuos provenientes de la agricultura y la industria de la alimentación es uno de los fundamentos de las políticas orientadas a la conservación de la energía y al manejo responsable del medio ambiente. Los desechos de biomasa, como por ejemplo el afluente líquido del suero de la industria lechera, representan una carga ambiental importante debido a la alta demanda de oxígeno bioquímico (Biochemical Oxygen Demand, BOD) que imponen. El suero es un subproducto de la producción de quesos y caseína, que contiene alrededor de 5% de lactosa y 0.1 a 0.8% de ácido láctico. Alrededor del 50% de la producción de leche de los EEUU es empleada en la producción de quesos, lo que origina aproximadamente 2,600 toneladas de suero líquido por año. El suero ácido, que contiene lactosa y ácido láctico, tiene una muy alta BOD, alrededor de 40,000 mg/l. Por ello, si se le elimina sin control, este suero puede representar una tremenda carga para el medio ambiente. El tratamiento de residuos con alta BOD requiere mucho capital y energía, por lo que cualquier opción viable para su reutilización muy probablemente produciría una considerable reducción de costos y ahorros de energía.

En Kansas State University, el trabajo de Alexander P. Mathews está orientado al estudio del uso de un impregnado de suero para la producción de descongelantes para carreteras, como sustituto del cloruro de sodio. Anualmente se gastan alrededor de \$2 billones de dólares para mantener en buenas condiciones de tránsito las carreteras de EEUU durante el invierno. La mayor parte de este gasto está dirigido a la aplicación de descongelantes químicos, fundamentalmente cloruro de sodio (NaCl). El empleo anual de NaCl se ha incrementado rápidamente, de 0.5 millones de toneladas en 1947 a alrededor de 30 millones de toneladas en 1996. Muchos caminos y carreteras en zonas nevadas pueden recibir hasta 60 toneladas de sal por kilómetro durante el invierno. Los descongelantes empleados actualmente, tal como el NaCl, producen una intensa corrosión en la infraestructura vial, además del daño ambiental causado por la contaminación de las fuentes de agua y los suelos.

El objetivo principal del trabajo del Sr. Mathew fue estudiar el uso de desechos de biomasa para la producción de descongelantes: acetato de calcio magnesio, (Calcium Magnesium Acetate, CMA) y propionato de calcio magnesio (Calcium Magnesium Propionate, CMP). Un novedoso proceso de fermentación en dos etapas fue desarrollado para utilizar y convertir sustratos baratos, como el impregnado de suero, en ácidos acético y propiónico para emplearse en la producción de descongelantes. El proceso en dos etapas tiene una eficiencia de conversión del sustrato de alrededor del 9%, comparado con el 53% del proceso en una sola etapa. Se obtuvieron concentraciones de ácidos de hasta 60 gm/l en fermentaciones intermitentes y semicontinuas. Además, la fuente de calcio y magnesio para el descongelante CMA/CMP se obtuvo de lodos de plantas de tratamiento de aguas (las operaciones de tratamiento de agua como coagulación, floculación y ablandamiento químico producen grandes cantidades de subproductos sólidos, que contienen calcio y magnesio y, que pueden emplearse en la producción de descongelante CMA/CMP).

## *Reducción de los Desechos y Reciclado del Refractario de Cromo-magnesita en el Proceso de Obtención de Acero*

El principal objetivo del trabajo de la Dra. Claudia Lage Nassaralla, en Michigan Technological University, es desarrollar las bases tecnológicas para reducir al mínimo la formación de cromo hexavalente ( $\text{Cr}^{6+}$ ). Éste es un reconocido carcinógeno formado dentro

del refractario de cromo-magnesita, tanto en su producción como en sus usos industriales. Por su excelente resistencia a los choques térmicos y a la corrosión química, cromo-magnesita es un refractario de alta temperatura empleado en las industrias del acero, cobre, cemento y vidrio. El refractario usado de cromo-magnesita es clasificado como material peligroso por la EPA cuando contiene niveles altos de  $\text{Cr}^{6+}$ . De entre todos los iones, el  $\text{Cr}^{6+}$  es el único soluble en agua y, como tal, puede originar efectos deletéreos sobre el medio ambiente y la cadena alimenticia porque es un potente oxidante y penetra fácilmente en el tejido humano. El origen del  $\text{Cr}^{6+}$  en el refractario se debe a la reacción entre el  $\text{CaO}$  y el  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Ningún otro óxido presente en el refractario es reconocido como formador de  $\text{Cr}^{6+}$ . Hasta hace relativamente poco tiempo, el refractario usado de cromo-magnesita era normalmente depositado en rellenos sanitarios autorizados. Actualmente, los refractarios de cromo-magnesita con contenido de  $\text{Cr}^{6+}$  superior de 5 ppm deben ser tratados antes de eliminarlos.

La tecnología que está desarrollando la Dra. Nassaralla, tiene el potencial para reducir al mínimo la formación de  $\text{Cr}^{6+}$  mediante el cuidadoso control del proceso de fabricación de los ladrillos y el acero. También permitirá la reducción del cromo de hexavalente a trivalente, e incluso hasta cromo metálico, cromo di y trivalente, mediante el reciclado de ladrillos en el convertidor de acero y en el horno de arco eléctrico, respectivamente. No será necesario ningún tipo de preprocesado de los desechos sólidos ni la instalación de equipo adicional. El material de desecho puede ser tratado in situ. Los ladrillos contaminados también pueden reciclarse como parte del flujo que debe agregarse al convertidor de acero, para así absorber los óxidos generados en la producción de este material, o al horno de arco eléctrico como una fuente de cromo para la producción de ferro-cromo. La información generada por este proyecto también puede ser aprovechada por las industrias del cobre, el cemento y el vidrio para diseñar sus prácticas de reducción de la formación de  $\text{Cr}^{6+}$ . Además del ahorro en los costos asociados a la eliminación de los ladrillos usados de cromo-magnesita, el reciclado del  $\text{Cr}^{6+}$  en el proceso de producción y su conversión a cromo metálico, cromo di y trivalente, evitará la contaminación del medio ambiente por la posible lixiviación de  $\text{Cr}^{6+}$  después de su eliminación.

## *El Agua Como Disolvente de Síntesis Química y de Materiales*

En vez de sacrificar a uno para favorecer a otro, el elemento clave de la investigación que tiene lugar en Tulane es la sincronización del avance de la ciencia y la tecnología con el avance de la química verde. Se ha desarrollado un grupo de tecnologías que emplean agua como disolvente para síntesis química, farmacéutica y de materiales. Las tecnologías desarrolladas no sólo ofrecen beneficios para la salud humana y el medio ambiente, sino que también el uso del agua como disolvente juega un papel primordial en el éxito de esta investigación. El empleo de grandes cantidades de disolventes orgánicos para operaciones a escala industrial tiene consecuencias inevitablemente graves sobre el medio ambiente. De hecho, de entre todos los compuestos orgánicos, los compuestos orgánicos volátiles son los mayores contaminantes. Por otro lado, el agua es un elemento inocuo, no explosivo, no inflamable y que sirve de sostén a la vida en este planeta.

Numerosas reacciones bioquímicas que afectan los sistemas vivos han ocurrido necesariamente en un medio acuoso. Por otro lado, la mayoría de las reacciones y síntesis orgánicas se han llevado a cabo en disolventes orgánicos. En Tulane, el Profesor Chao-Jun ha desarrollado varias metodologías de síntesis que emplean agua como disolvente. Con estas metodologías ha sintetizado productos naturales de importancia biológica, novedosos materiales electrónicos y de óptica, así como materiales de nanocarbono. En la mayoría de los

**Profesor Chao-Jun Li,  
Facultad de Química,  
Tulane University**

casos los estudios presentan la doble ventaja de ser “acuosos” y de brindar una “economía atómica.” Asimismo, en la mayoría de los casos el empleo del agua como disolvente de la reacción, no sólo la hace inocua para el medio ambiente, sino esencial para el éxito de la investigación.

### *Formulaciones con Base Acuosa para Revestimiento en la Manufactura de Cintas de Vídeo*

La tecnología de las cintas magnéticas es un componente importante de la era de la información y el mantenimiento de la capacidad de producción local es importante para la economía de los EEUU. La cinta magnética se fabrica con un proceso continuo de recubrimiento de malla que emplea disolventes orgánicos, tales como el tetrahidrofurano, la metiletilcetona (Methyl Ethyl Ketone, MEK), la metilisobutilcetona (Methyl IsoButyl Ketone, MIBK), el tolueno y la ciclohexanona. MEK, MIBK y el tolueno están en la lista de los 189 contaminantes más peligrosos de la atmósfera, así como en la lista de los 18 productos químicos comprendidos en el programa de reducción voluntaria de la contaminación, denominado 33/50, de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA).

Las formulaciones acuosas para el revestimiento de cintas magnéticas fueron diseñadas en la Universidad de Alabama y usadas para preparar muestras experimentales de cintas magnéticas en una prueba piloto de revestimiento. Las formulaciones estaban compuestas de una mezcla de poliéster disperso en agua y una emulsión de copolímero de etileno/cloruro de vinilo. Los revestimientos fueron curados térmicamente con un reticulador de melamina formaldehído para dotarlos de una flexibilidad comparable a la del adhesivo estándar con base en disolvente. La prueba piloto de la cinta empleó el equipo de procesamiento existente, incluso el de satinado (calandrado) y el de corte. La cinta presentó buenas propiedades magnéticas y excelente adhesión entre la capa magnética pigmentada y la película de base, excediendo con facilidad los 8 mm del estándar de exploración helicoidal de la cinta con 0,96 N de fuerza de descapado. Un análisis del impacto económico del proceso de revestimiento de base acuosa para cintas de vídeo en una planta manufacturera tradicional demostró una reducción de costos del 11% por hora de operación. El proceso con base de disolvente produjo casi 650 kg de disolvente orgánico por hora de operación, mientras que el proceso de base acuosa generó menos de 5 kg de metanol (derivado del reticulador de melamina formaldehído) por hora. Además de prevenir la contaminación, existe un claro incentivo económico para la adopción del proceso acuoso de fabricación de cintas de vídeo.

# Propuestas de Empresas Pequeñas

## *Material Termoplástico Biodegradable*

Mater-Bi™ es una resina completamente biodegradable y convertible en abono orgánico, que posee las propiedades físicas y mecánicas de los plásticos convencionales. Mater-Bi™ está diseñada para ser empleada en la fabricación de una amplia gama de productos desechables, como bolsas para basura, bolsas de supermercado, utensilios para la mesa y envolturas. Mater-Bi™ es un producto con una tecnología que ofrece grandes ventajas para resolver los problemas de manejo de desechos sólidos. La eliminación de los productos convencionales de plástico, los cuales constituyen la fracción más significativa de los artículos desechables, tiene un efecto negativo sobre el medio ambiente. Normalmente, los productos desechables se depositan en rellenos sanitarios, los que son rápidamente saturados. Los productos compuestos por Mater-Bi™ son completamente reciclables ya que son convertibles en abono orgánico. Los utensilios de mesa biodegradables ofrecen una oportunidad importante para reducir el volumen de residuos sólidos. Por ejemplo, durante 1994, en los Estados Unidos, se usaron casi 39 billones de piezas de cubiertos desechables (cuchillos, tenedores y cucharas), más de 113 billones de vasos y alrededor de 29 billones de platos desechables. Actualmente se están desarrollando artículos biodegradables para aplicaciones médicas, textiles y otras más. Todos estos productos pueden transformarse en muy necesarios abonos y aditivos para suelos agrícolas. La resina de Mater-Bi™ empleada en películas está constituida por el almidón y la policaprolactona, un polímero. El tiempo de biodegradación es de entre 20 y 45 días en condiciones de abono. La resina Mater-Bi™ empleada para fabricar artículos dimensionalmente estables usando moldeado por inyección está hecha de materiales completamente naturales, los cuales comprenden semillas de algodón y almidón de maíz cuyo tiempo de biodegradación es de entre 75 y 120 días en condiciones normales de abono.

**BIOCORP, Inc.**

## *El Aparato y Método de Burch para Tratar Selectivamente la Vegetación a Fin de Reducir el Uso de Pesticidas y Fertilizantes, Eliminar la Emisión de Ciertas Toxinas al Medio Ambiente, Reducir el Esguerramiento de Pesticidas y la Exposición Potencial del Trabajador a Las Sustancias Tóxicas*

Wet Blade® de Burch es un nuevo descubrimiento y un método revolucionario para el control de la vegetación. Wet Blade® permite la aplicación selectiva de varios fluidos, tales como pesticidas, reguladores del crecimiento, productos biológicos y fertilizantes (de aquí en adelante denominados "pesticidas"). El producto permite que una minúscula cantidad del pesticida sea inmediatamente incorporada al sistema vascular de la planta en el momento de ser cortada por una cuchilla. Este método de aplicación es posible gracias al uso de una cuchilla segadora de diseño especial que aplica el pesticida por contacto, transfiriendo el pesticida al sistema vascular de la planta desde la cara inferior de la hoja de corte, sin causar una pulverización descontrolada del producto químico. Wet Blade® de Burch es un sistema no atomizador, totalmente cubierto, que permite una aplicación precisa de pesticidas y, por ende, hace posible reducir la cantidad de producto requerida y eliminar tanto la exposición del trabajador al pesticida como la contaminación involuntaria con pesticidas.

**Burch Company**

## *Tecnología de Proceso CerOx para La Destrucción No Térmica de Desechos Orgánicos Peligrosos*

CerOx (Cerium Oxidation) Corporation está comercializando su proceso para destruir flujos de residuos orgánicos peligrosos. Este singular proceso, que convierte los desechos tóxicos en CO<sub>2</sub> y agua, es una alternativa económica a la incineración y al depósito en rellenos sanitarios. El proceso también puede ser operado in situ, lo que reduce el costo del productor al eliminar la necesidad de transporte. Se diseñaron sistemas de siete tamaños distintos para satisfacer las necesidades de varios tipos de clientes, los cuales pueden fluctuar desde 140 kg hasta más de 3 toneladas de destrucción por día. El proceso electroquímico CerOx permite la destrucción de desechos orgánicos tóxicos en condiciones casi ambientales. La tecnología se basa en una celda de reacción de tecnología registrada. La celda del reactor está diseñada para ser fabricada con plásticos de alta densidad, mediante avanzadas técnicas de inyección. El sistema es de fabricación, mantenimiento y reemplazo económicos. Además, el sistema también registra y almacena los datos necesarios para elaborar los informes exigidos por la EPA. La flexibilidad del proceso CerOx permite ubicarlo en el lugar de origen de los desechos peligrosos, lo que elimina los costos de transporte. Las condiciones de reacción relativamente moderadas del proceso CerOx eliminan el potencial explosivo de los métodos térmicos actuales, como la incineración y la pirólisis con metal fundido, que operan bajo condiciones de alta temperatura y/o presión.

## *Asfalto con Migajas de Caucho Modificado Químicamente*

Se desarrolló un proceso para producir asfalto usando migajas de caucho (hule) modificado químicamente (Chemically Modified Crumb Rubber Asphalt, CMCRA). El CMCRA se produjo usando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (generador de radicales libres, en este caso generador del ion carbonio) para producir sitios carboxílicos sobre la superficie del caucho en migajas, empleando los sitios oxigenados del negro de carbón [estos sitios oxigenados obtendrán hidrógeno y serán convertidos en grupos de ácido carboxílico (COOH)]. Estos sitios en el caucho en migajas pueden, posiblemente, ser la causa de la desvulcanización y pueden reaccionar con grupos funcionales disponibles en el asfalto, lo que produce un asfalto modificado homogéneo. Comparado con las muestras de control, las propiedades reológicas del asfalto modificado mediante este proceso son superiores tanto a bajas como altas temperaturas y también presenta mejores características de separación y homogeneidad. Dado que el caucho es el principal componente de la CMCRA y es un mal conductor de calor, es probable que el CMCRA pueda ser empleado para construir pavimentos asfálticos a temperaturas de pavimento más bajas que otros asfaltos puros o modificados. La primera instalación de prueba del pavimento fue llevada a cabo con éxito a una temperatura de pavimento menor a la recomendada por el Departamento de Transportación de Connecticut, lo que sugiere que el CMCRA puede ampliar la temporada de construcción de pavimentos.

## *Desarrollo y Comercialización de Productos Químicos Intermedios de Alto Valor a Partir del Almidón y la Lactosa*

Synthon ha desarrollado un método para el empleo de materia prima de carbohidratos a gran volumen para la obtención de productos químicos finos. En la actualidad, una de las tareas más importantes que enfrenta la industria química es la identificación y el desarrollo de materias primas económicamente viables, renovables y a gran volumen, tales que puedan

asumir gran parte (o la totalidad) del papel central de los materiales producidos con petróleo. El almidón es uno de los materiales más abundantes que se pueden obtener de la biomasa en forma pura. A pesar de las muchas dificultades a superar, es también una de las materias primas más promisorias para la práctica de la química sustentada en recursos renovables y benignos para el medio ambiente. Tres de las características más importantes de la estructura y la química del almidón que satisfacen los requerimientos de materia prima para la química verde son: su solubilidad en agua, la riqueza de grupos funcionales y su pureza óptica. Las mismas características también corresponden a la lactosa, un material poco utilizado y disponible en la industria del queso, en cantidades del orden de miles de toneladas anuales. Estas tres promisorias características también constituyen las tres principales dificultades técnicas para el empleo del almidón y la lactosa como materias primas, puesto que son prácticamente insolubles en otros disolventes benignos para el medio ambiente (como los alcoholes y los ésteres), lo que limita la gama de metodologías químicas en que se pueden aplicar. Hasta la fecha, la alta densidad de grupos funcionales (polihidroxilación) ha hecho casi imposible hacer algo útil con estos materiales, a gran escala y de forma selectiva. Su pureza óptica está incorporada en funcionalidades que hacen muy difícil su conservación.

En los últimos tres años, Synthon Corporation ha trabajado para superar estas barreras técnicas mediante el desarrollo, la demostración y la comercialización de una nueva química que revolucionará fundamentalmente la importancia de estas dos materias primas críticas en la lista de los recursos renovables para la producción de productos químicos de consumo masivo. En este proceso, estos materiales son oxidados bajo condiciones controladas en hidróxido de sodio diluido, usando el anión peróxido para formar el ácido (S)-3,4-dihidroxi-butírico y el ácido 2-hidroxiacético (ácido glicólico) con un alto grado de conversión. El ácido (S)-3,4- dihidroxi-butírico puede ser convertido en lactona por acidificación y concentración. El ácido glicólico y la lactona pueden ser empleados en la producción de una gran variedad de productos químicos finos, particularmente en las industrias farmacéutica, agroquímica y de polímeros. El ácido glicólico, por ejemplo, se usa en la fabricación de poliésteres especializados y en la preparación de pinturas. Normalmente se obtiene por un método de clorado del ácido acético e hidrólisis del derivado del cloro con hidróxido de sodio, el cual es un método ambientalmente agresivo. El folleto de productos de Synthon enumera más de 30 productos disponibles en cantidades que fluctúan desde gramos hasta toneladas. Este proceso ha permitido a Synthon adoptar el liderazgo en el área de productos quirales intermedios de alto valor. Todo ello con metodologías de química verde que permiten el aprovechamiento de recursos naturales.

### *Desarrollo de un Modelo y Proceso Prácticos para Reducir Sistemáticamente el Impacto Ambiental de Sustancias Químicas Empleadas en la Industria Textil y en Otras Industrias Conexas*

A principio de los 80 se descubrió que las descargas de las operaciones de teñido y acabado textiles dañaban las plantas públicas de tratamiento de residuos. El resultado de estudios iniciales sobre la reducción de la toxicidad identificó como causantes del problema a las sustancias químicas textiles tóxicas y semidegradadas, así como a los agentes tensioactivos (surfactantes). Se decidió que, para el desarrollo de una industria textil sustentable en los EEUU, un importante objetivo a largo plazo era la eliminación de los agentes tóxicos desde la formulación de un producto. Para poder crear productos “diseñados para el medio ambiente” era necesario desarrollar una forma económica de seleccionar sustancias químicas

**Burlington Chemical  
Company**

y materias primas, al igual que comunicar los resultados interna y externamente, tanto a consumidores como a órganos de control.

Burlington Chemical descubrió que los resultados de tres pruebas de la OECD (la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Europeo), las OECD301D, 202 y 209, podían vincularse a un sistema experto de computación (AQUATOX®) para el diseño de sustancias químicas textiles de reducido impacto ambiental. Este descubrimiento condujo al desarrollo de un programa para la reducción de los residuos y la toxicidad, Burco® Care, el cual ha dado por resultado la producción de sustancias químicas para procesamiento húmedo de bajo impacto ambiental. A su vez, este sistema experto dio origen a otro para comparar el impacto ambiental de diferentes sustancias químicas textiles, el cual puede ser empleado por los fabricantes para establecer sus estrategias de compras y se ha ganado la aprobación de los líderes del mercado textil de los EEUU. Burco® Care representa un enorme avance, del simple cumplimiento de reglamentaciones, a la creación de un enfoque sistémico e inteligente para incrementar el valor agregado mediante la reducción del riesgo y la mejora del medio ambiente.

### *Refrigerantes de Bajo Impacto Ambiental y Alta Eficiencia Energética*

Existe una necesidad imperiosa de productos inocuos para el medio ambiente que sustituyan a los refrigerantes CFC, HCFC y HFC. El retiro gradual del mercado de los CFCs y HCFCs, así como la preocupación creciente por la emisión de gases que contribuyen al efecto de invernadero, crean la urgente necesidad de desarrollar refrigerantes ambientalmente seguros, de alta capacidad y eficiencia energética, ni inflamables, ni tóxicos. El Dr. Jonathan Nimitz y su coinventor, Lance Lankford, descubrieron y patentaron una familia de refrigerantes mejorados que se basa en mezclas que contienen yoduro de trifluorometilo (CF<sub>3</sub>I). El CF<sub>3</sub>I tiene propiedades físicas interesantes, pues es un inhibidor de la combustión, tiene un efecto nulo sobre la disminución de la capa de ozono (Ozone Depletion Potential, ODP), un bajo potencial para el aumento de la temperatura mundial (Global Warming Potential, GWP) y una toxicidad relativamente baja. El CF<sub>3</sub>I puede ser combinado con refrigerantes de alta capacidad, energéticamente eficientes y ambientalmente inocuos pero inflamables, para obtener excelentes mezclas refrigerantes no inflamables. El resultado es un refrigerante energéticamente eficiente, ambientalmente inocuo y seguro.

Los inventores y Dole Food Company formaron una nueva compañía, Ikon, Inc., para financiar las pruebas y la comercialización de dichos refrigerantes. La primera formulación desarrollada, Ikon® A, tiene muy bajo GWP y puede ser empleada en sistemas R-12 y R-134a. El desempeño de Ikon® A ha tenido excelentes resultados en una prueba de más de 3 años de duración en los transportes refrigerados de Dole Food Company. El Ikon® A también se puso a prueba en el R-134a, un modelo nuevo de refrigerador para uso doméstico y resultó ser 19% más eficiente en el consumo de energía y poseer 15% más capacidad volumétrica refrigerante que el modelo R-134a anterior. Ikon® B se desarrolló como una versión más económica que Ikon® A. Se ha puesto a prueba en unidades de transporte refrigeradas, en un enfriador de agua de 5 toneladas (patrocinado por el Centro Espacial Kennedy de la NASA) y en el nuevo refrigerador doméstico R-134a (patrocinado por la EPA). El empleo de refrigerantes Ikon® producirá mejoras en la salud humana y en la calidad del aire y el agua, reducirá el cáncer de la piel, los daños al medio ambiente y a los cultivos por la radiación UV.



## *El Módulo de Cómputo LCAPIX: La Evaluación del Ciclo de Vida Combinado con el Cálculo de Costos de Actividad para Ayudar a la Preservación del Medio Ambiente Mundial y al Crecimiento Económico Sostenido*

La evaluación del ciclo de vida (Life Cycle Assessment, LCA) es una técnica desarrollada a fines de los años 60 para tratar la difícil problemática—plagada de contenido socioeconómico y político—del uso y reutilización de todos los productos, procesos y servicios fabricados por el hombre. El módulo LCAPIX es una herramienta de informática (software) que facilita eficientemente la implementación del proceso LCA y motiva a los niveles gerenciales (en industrias químicas u otras) a realizar estos estudios mediante la elaboración de análisis de costos de actividad (Activity Based Cost, ABC).

Mediante el empleo de un enfoque de ingeniería industrial que usa conductores y valores de conductor, el modelo y la base relacional de datos proporcionan una combinación única de dos estrategias que complementan y mejoran la ejecución de estrategias de gerencia ambiental (Environmental Management Strategy, EMS). Este programa de cómputo ha sido empleado para comparar diferentes productos, procesos y servicios, no sólo con base en su potencial de daño ambiental (pues emplea diversas técnicas de evaluación, como la ponderación selectiva enfocada al aumento mundial de la temperatura, la destrucción del ozono, la lluvia ácida, la deforestación o la biodiversidad), sino también para entender e ilustrar como se pueden emplear las diferentes técnicas para disminuir las cargas ambientales, a la vez que se disminuyen los costos internos, externos, invisibles o desconocidos (“costos ocultos”). Este programa de cómputo es multifuncional, ya que proporciona comparaciones LCA estratégicas o ambientales a bajo costo, de manera sencilla y rápida para cada producto, proceso o servicio.

## *Óxido de N-metilmorfolina-N (NMMO): Un Disolvente Novedoso y Atóxico de la Celulosa para Reducir la Fuente Productora en la Elaboración de Fibras Textiles*

Durante décadas enteras los científicos han buscado distintas maneras de producir fibras de celulosa. El método estándar para producir estas fibras ha sido el procedimiento viscoso inventado en 1894. No se conocían disolventes orgánicos neutros para la celulosa hasta 1965. Fue entonces que en los laboratorios Eastman Kodak, Dee Lynn Johnson descubrió que el óxido de N-metilmorfolina-N (NMMO) funciona como disolvente para la celulosa. También demostró que la solución de celulosa se podía filtrar y se podían regenerar sus filamentos por precipitación en agua. Una propiedad adicional del NMMO es que se puede recuperar y reutilizar por evaporación del agua. Este nuevo disolvente actualmente ha sido comercializado por Huntsman Petrochemical Corporation y varios fabricantes de fibras han desarrollado procedimientos comerciales de producción. Las fibras obtenidas mediante el uso de NMMO se denominan fibras de lyocell, que significa celulosa hilada a partir de una solución. El antiguo proceso viscoso produce fibras de rayón, pero requiere una reacción química entre el bisulfito de carbono y la celulosa en presencia de una base fuerte para producir un complejo de xantato. El bisulfito de carbono es muy inflamable, tóxico para el ser humano y está entre los gases que contribuyen al efecto de invernadero. Además, las fibras de xantato deben ser regeneradas por extrusión, en un baño ácido de coagulación donde se descompone y se da origen a subproductos contaminantes que se descargan en agua.

**TechMatch,  
Incorporated**

## *Reciclado Natural de Plásticos Mediante la Degradación Química y Biológica*

La fabricación moderna de polímeros ha alcanzado un alto nivel de eficiencia en la utilización de sus recursos. Existe un sistema eficiente en el uso de la energía para producción de aditivos derivados de polímeros naturales y otras sustancias químicas capaz de facilitar un mecanismo eficiente para el desarrollo de alternativas en el reciclado de los plásticos, de modo tal que permite una degradación controlada para dar paso a la incorporación del sistema a los ciclos orgánicos naturales. Este sistema está basado en el uso continuo de la maquinaria convencional para el procesado de plásticos, cuyo resultado es un producto que tiene las ventajas de los materiales plásticos existentes, pero aunado al beneficio adicional de la degradación controlada en los ambientes apropiados. Después de la desintegración, los elementos quedan disponibles para ser incorporados al humus y demás componentes del suelo. Los aditivos funcionan proporcionando catalizadores para la degradación basados en los ácidos grasos naturales insaturados, así como otros cationes metálicos insaturados y benignos con múltiples estados de oxidación (como el hierro). Al combinar estos con los polímeros termoplásticos convencionales puede lograrse la degradación oxidativa de los plásticos normales. Además, se les combina con un polímero biodegradable natural, como el almidón o la celulosa, para propiciar el ataque biológico y la colonización microbiana de los plásticos. En ambientes naturales esto da origen a un lento proceso de biodegradación oxidativa, semejante al de la lignina, el cual permite la incorporación de carbono directamente al humus y a las plantas.

## *Un Desengrasante Seguro Que Trabaja tan Eficientemente como el Tricloroetano y Supera a los Productos Acuosa*

Las técnicas tradicionales de desengrasado se han basado en disolventes clorados. Aunque estos disolventes son muy efectivos para la remoción de las grasas y aceites de los metales, ocasionan serios problemas en el medio ambiente y en la salud humana. Los productos que destruyen el ozono, como el 1,1,1, tricloroetano (1,1,1 TCA) y el triclorotrifluoroetano (CFC 113), han sido retirados gradualmente del mercado por la iniciativa de ley Clean Air Act Amendment de 1990 que obliga al usuario a reemplazarlos. Se han introducido varios limpiadores seguros como alternativas, aunque pocos proporcionan la efectividad de un disolvente clorado, obligando a la mayoría de los usuarios a adoptar procesos más prolongados de limpieza y a comprar equipos nuevos y costosos. Solvent Kleene, Inc. desarrolló el D-Greese 500-LO como un desengrasante y limpiador seguro, el cual no obliga a las empresas a comprometer la seguridad de la operación con la eficiencia de la limpieza. En pruebas independientes, el D-Greese 500-LO demostró ser una alternativa segura, incluso superior al tricloroetano. Mientras que otros productos seguros (como los limpiadores acuosa) son lentos, requieren de calentamiento y obligan a hacer costosas inversiones en nuevo equipo y procesos (como el tratamiento de los desechos acuosa), el D-Greese 500-LO puede ser fácilmente integrado a los procesos de limpieza sin invertir cuantiosamente en nuevos equipos y procesos. Además, el D-Greese 500-LO es reciclable. La solución usada puede ser fácilmente recuperada y reutilizada, lo que reduce tanto los flujos de desechos peligrosos como las compras de limpiador.

## *Productos Atóxicos Contra la Acumulación de la Suciedad y la Incrustación*

La Cia. IMC ha desarrollado un proceso para aplicar cobre puro a una variedad de sustratos (que comprenden el aluminio, la madera, la fibra de vidrio y el acero), como un producto atóxico contra la acumulación de la suciedad (fouling) muy duradero, que no produce escurrimiento de contaminantes al medio ambiente y que no requiere disolventes durante el proceso de aplicación. En este proceso se utiliza un arco eléctrico que funde al metal impulsado por una corriente de aire puro comprimido. El revestimiento queda permanentemente soldado al sustrato y repele todo tipo de problemas marinos, inclusive los mejillones “cebra” que actualmente representan un problema muy costoso en los Estados Unidos. Este proceso se emplea en la protección de plantas generadoras de electricidad, de tomas de agua para refrigeración, de barcos, de boyas y de otras tantas estructuras.

## *Mejoras en el Proceso del Paclitaxel*

Paclitaxel es un agente quimioterapéutico para el tratamiento del cáncer de ovario y de mama, entre otros. Hauser ha desarrollado una tecnología verde construida a partir de una mejora del proceso—patentada por la misma compañía—mediante la cual la cefalomanina y otros compuestos afines oxidables por ozono son separados del paclitaxel y de otros compuestos no oxidables, todo ello usando tecnologías de extracción de biomasa (ozonólisis). Hauser desarrolla, fabrica y comercializa productos especiales derivados de fuentes naturales. Comparados con otros procedimientos convencionales, los procesos de extracción y purificación patentados por Hauser le permiten producir extractos naturales de más alta calidad, con mayor rendimiento y concentración. Para procesar materias primas naturales y producir productos naturales especializados, Hauser combina tecnologías patentadas con técnicas convencionales y emplea esta tecnología para producir a granel el compuesto paclitaxel, útil para el tratamiento del cáncer a partir de árboles de tejo.

La puesta en práctica de la tecnología de ozonólisis de Hauser en el aislamiento del paclitaxel generó muchos beneficios para el medio ambiente y para la salud humana. Se eliminaron varios disolventes del proceso (como el cloruro de metileno), sus subsecuentes emisiones aéreas (43,000 libras anuales), así como cantidades considerables de desechos (254,000 libras anuales). Además, se mejoró el empleo de recursos naturales mediante la incorporación de materias primas renovables (422,000 libras recicladas anualmente); se reemplazó un medio de filtración que requería su eliminación como desecho peligroso (100,000 libras anuales) con una alternativa perdurablemente reutilizable; y, aún más importante, estas mejoras permitieron la producción más económica de la droga anticáncer más efectiva de la historia, colocándola más al alcance de aquellos que la necesitan. El impacto económico de todos los cambios de procesamiento originó una reducción del 50% del costo de producción.

## *Imprimador para Pintura contra la Acumulación de la Suciedad y la Incrustación*

Este material es un imprimador diseñado para usarse junto con la pintura de fondo—una pintura contra la acumulación de la suciedad (fouling) y la incrustación—empleada en todos los cascos de las naves marinas. En toda nave marina, cada año, debe removerse esta pintura contra la suciedad y repintarse el casco. Los métodos actualmente empleados obligan a remover la pintura mediante el lijado. El polvo que se produce es peligroso; vuela hacia el

**International  
Metalizing Corporation  
(IMC)**

**Hauser, Inc.**

**BAT Technologies Inc.**

agua y el personal que lleva a cabo el lijado lo inhala. Tan sólo en los Estados Unidos, cada año se descargan al océano 1.5 millones de libras de polvo de pintura de óxido de cobre.

Se desarrollaron un método y un material que permite la rápida remoción de la pintura en capas de gran tamaño, sin emplear el procedimiento de lijado. El imprimador usa una emulsión sofisticada de cera y agua. Una vez que se evapora el agua de la emulsión se aplica la pintura contra la suciedad; luego la nave se puede usar normalmente. Cuando es necesario reparar y repintar la nave, la capa vieja de pintura se remueve con el sólo uso de agua caliente. La temperatura del agua debe ser superior a la temperatura de derretido de la cera. La pintura usada se recoge con facilidad y se coloca en tambores de desecho. Posteriormente, se deposita en un lugar de eliminación de desechos peligrosos o bien, puede ser reciclada.

### *El Proceso Radiance: Un Avance Cuántico de la Química Verde*

El proceso Radiance es una tecnología de limpieza novedosa, seca y atóxica para la preparación de superficies. Emplea los efectos de mecánica cuántica de la luz láser en combinación con un gas inerte, normalmente nitrógeno, para la limpieza de superficies. La luz desprende y levanta los contaminantes de la superficie, mientras que el flujo de gas los desaloja sin producir la contaminación usualmente asociada con la limpieza de superficies. Este proceso tiene aplicación potencial en la fabricación de distintos productos: semiconductores, máscaras para fotolitografía, pantallas de perfil plano, medios magnéticos de almacenamiento de datos y artículos de óptica. El proceso Radiance limpia descargas o desechos sin emisiones, lo que previene la contaminación y preserva recursos naturales. Está diseñado para reemplazar el uso de compuestos químicos húmedos en la limpieza y la preparación de superficies.

### *Procesos Sin Disolventes para Mejorar las Propiedades de la Tela*

El proceso de Nextec mejora las propiedades de la tela mediante un procedimiento que no emplea disolventes ni usa compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compounds, VOCs). Emplea materiales iniciales esencialmente atóxicos y produce residuos inertes que han pasado pruebas de biocompatibilidad. Patentada y utilizada por Nextec Applications Inc., esta singular tecnología, reemplaza procesos en los que se disuelve el caucho (hule) en disolventes tóxicos aromáticos o clorocarbonados para luego ser esparcidos o aplicados como revestimiento sobre la tela. El proceso de Nextec permite la ubicación precisa de películas delgadas de polímero por entre las fibras y puntos de entrecruzamiento, para el llenado de una determinada fracción de los espacios intersticiales de las telas. La elección del polímero, del sustrato y de la ubicación del polímero permiten mejorar las propiedades de la tela, como el desempeño de la barrera de aireación, la porosidad controlada, la resistencia a los fluidos y el comportamiento de adhesión/liberación. Esta tecnología tiene aplicaciones en la industria aeroespacial, la automovilística, la de indumentaria y la médica.

## *Azúcares Derivados de Materiales de Lignocelulosa para la Producción de Combustibles y Compuestos Químicos de Base Biológica*

Arkenol, Inc. ha desarrollado una tecnología ambientalmente compatible y económicamente competitiva en el ámbito de la industria de los carbohidratos. A pesar de ser completamente análoga a la de la industria petroquímica, la tecnología Arkenol usa materias primas inocuas y renovables. El proceso Arkenol utiliza ácido sulfúrico concentrado para degradar la estructura de la celulosa y la lignocelulosa de la materia prima; luego completa la formación de azúcares C6 y C5 utilizando agua para su posterior transformación en compuestos químicos y combustibles. La lignina se procesa para usarla en el enriquecimiento de suelos y como combustible sólido. La sílice, de ocurrencia singular en la paja del arroz, puede ser recuperada y convertida en precipitados de sílice o zeolita de alto valor. Las trazas de ácido sulfúrico en la solución azucarada se convierten en yeso para el enriquecimiento del suelo, o en sulfato de amonio para fertilización. Los azúcares pueden ser convertidos en alcoholes y dióxido de carbono, ácidos, éteres, disolventes o agentes tensioactivos por conversión química directa, por fermentación o por una combinación de ambos procesos.

La utilización de la tecnología de Arkenol favorecerá la producción descentralizada y económica del etanol para combustible, así como la de otros compuestos químicos con base biológica. La capacidad de Arkenol para emplear una amplia variedad de materias primas permitirá la ubicación de las plantas de producción (o “biorrefinerías”) cerca de su propio mercado. La conversión a gran escala de materiales de desecho en combustibles o compuestos químicos es una solución novedosa para la administración de los desechos, la prevención de la contaminación y el desarrollo económico.

## *Programa de Impacto Total: Un Programa para Lavanderías Compatible con el Medio Ambiente*

El Programa de Impacto Total® (Total Impact Program, TIP) de Anderson Chemical Company emplea compuestos químicos con características más positivas para la salud humana y el medio ambiente que los convencionalmente usados en las lavanderías. El TIP® incorpora un detergente de pH neutro, mejorado con enzimas y agentes tensioactivos (surfactantes) que poseen una baja carga para el medio ambiente, blanqueado con oxígeno y suavizadores biodegradables. Este programa también ahorra agua y energía, además de prolongar la vida útil de las telas. Este programa se concentra en tres áreas principales: la seguridad para el usuario, el impacto ambiental al prevenir la contaminación por reducción de la fuente productora y, la eficiencia en la reducción del consumo de recursos al disminuir los costos por libra procesada (disminución del consumo de agua, de los costos de energía y de los costos de afluentes inducidos por las variables de volumen y pH).

## *Reducción de los Desechos de Aceite Mediante la Extensión de su Vida Útil*

De acuerdo a estimaciones de la Asociación Nacional de Refinadores de Petróleo (National Petroleum Refiners Association, NPRA), en los Estados Unidos durante 1996 se emplearon 1.1 billones de galones de aceite en vehículos de pasajeros y 916 millones de galones en vehículos diesel. Gran parte del aceite reemplazado por los propietarios de

**Arkenol Holdings,  
L.L.C.**

**Anderson Chemical  
Company**

**AMSOIL Incorporated**

vehículos de pasajeros se libera en el medio ambiente de manera inadecuada. Debido a la naturaleza peligrosa del aceite usado, su manejo es un problema ambiental de suma importancia. El aceite usado contiene toxinas como plomo, benceno, cadmio, cromo y otros metales pesados. Estos contaminantes pueden causar enfermedades en plantas y animales, así como contaminar el agua potable. El aceite de desecho goza de un tratamiento reglamentario especial, el cual exceptúa su manejo de la aplicación de reglas convencionales para desechos peligrosos con el fin de alentar su empleo como fuente de energía. En términos generales, esto ha logrado un mejor manejo del aceite usado por el sector comercial. En cambio, el aceite usado que genera el consumo doméstico actualmente se desecha de manera impropia a una tasa nacional alarmante—220 millones de galones por año, según estimaciones del Departamento de Energía de los EEUU.

En 1972, AMSOIL Inc., introdujo en el mercado el primer aceite para motores 100% sintético que cumplió con los requisitos del Instituto Americano del Petróleo y que pasó las pruebas de desempeño para vehículos particulares de pasajeros que utilizan gasolina. Desde entonces, AMSOIL Inc. ha desarrollado fórmulas de aceites sintéticos que extienden la vida útil del aceite hasta 11 veces por encima de la de los lubricantes derivados del petróleo para automóviles y camiones domésticos o comerciales, e incluso más, si el uso es acompañado de un programa de análisis de aceite. AMSOIL Inc. también fabrica lubricantes de vida extendida y alta calidad, así como productos afines para usos industriales y comerciales que comprenden mecanismos hidráulicos, compresores, engranajes y generadores eléctricos con motores diesel. La capacidad de los productos lubricantes de AMSOIL para proporcionar protección eficiente contra el desgaste a motores y máquinas beneficia al consumidor, al proveedor de bienes y servicios y a la industria que los emplea; al mismo tiempo, se reduce el volumen de desechos de aceite en la fuente productora. La materia prima fundamental de los aceites sintéticos está compuesta de moléculas de diseño especial para lograr comportamientos determinados. Una ventaja distintiva sobre el petróleo crudo es que dichas moléculas se pueden ajustar para satisfacer los requisitos específicos de cada aplicación. La estructura molecular uniforme de la materia prima fundamental en los aceites sintéticos reduce la volatilidad del lubricante (la evaporación de sustancias aromáticas) bajo condiciones extremas de calor, lo que a su vez reduce el consumo de aceite. Mediante el uso de lubricantes sintéticos con vida útil prolongada, el consumidor americano promedio puede usar 75% menos de aceite, lo que reduce el volumen y el potencial de la contaminación accidental del medio ambiente.

## IonEdge Corporation

### *Deposición Seca de Cadmio Sin Residuos*

La electrodeposición del cadmio se usa de manera extensa en las industrias de defensa y aeroespaciales para proteger a los aceros de la corrosión. Sin embargo, el cadmio es un reconocido material tóxico. Además, el proceso de electrodeposición genera grandes cantidades de lodos y de afluentes tóxicos de desecho. Por ejemplo, una planta típica de tamaño medio de electrodeposición descarga más de 100,000 galones de afluentes diariamente y desecha de 15 a 20 toneladas de lodos peligrosos por semana. Como alternativa a este proceso convencional, IonEdge Corporation ha desarrollado y comercializado una tecnología de deposición seca con “residuos nulos”. La deposición seca no usa sustancias químicas líquidas y recicla los materiales sólidos in situ, lo que resulta en la eliminación completa de los residuos. En esta tecnología se emplea el concepto de un baño de vapor al vacío, a diferencia del baño líquido de la electrodeposición. Este baño de vapor permite una deposición multidireccional y económica del cadmio, exclusivamente sobre las piezas que lo requieren, creando así una nueva tecnología verde. Además, la cantidad de agua empleada, filtrada y desionizada se reduce un orden de magnitud, como mínimo, y la energía eléctrica consumida en la

operación de deposición seca es sólo el 35% de la empleada en la electrodeposición. El ahorro estimado en el tratamiento y la eliminación de residuos en la línea de deposición seca es mayor a \$1,000 dólares por día y las inversiones de capital en su montaje son sustancialmente menores. En la planta de IonEdge Corporation de Fort Collins, Colorado se ha instalado una línea completa para deposición seca. La línea de deposición consta de sólo cuatro procesos y un punto de control de calidad, a diferencia de más de una docena de baños y operaciones relacionadas con la electrodeposición. Esta línea de deposición ha sido certificada por un importante proveedor de piezas para la industria aeroespacial y dos máquinas de deposición seca están siendo usadas para la deposición de cadmio sobre componentes aeroespaciales.

### *El “Watershield” de Zyvax como Agente de Desmolde*

El Watershield de Zyvax es un material especial que facilita el desmolde de piezas aeroespaciales unidas con adhesivos, fibra de vidrio u otras estructuras aeronáuticas/espaciales compuestas. No contiene compuestos orgánicos volátiles, sustancias químicas destructoras del ozono u otros disolventes o materiales considerados peligrosos por la EPA o agencias de control estatales y locales. Además, como agente de limpieza, el Watershield puede ser empleado para limpiar el molde, ya sea para su uso inicial o para usos subsecuentes. Dado que sus residuos se pueden remover fácilmente con agua o agentes limpiadores solubles en agua, se reduce considerablemente la necesidad de disolventes que se requerirían antes de pintar o sellar las piezas. Por lo tanto, en la formulación y el empleo del Watershield de Zyvax se evita la utilización de materiales agresivos para el medio ambiente. Se demostró que es un agente para desmoldar tan efectivo que fue adoptado con entusiasmo por un sinnúmero de compañías aeroespaciales, las cuales descubrieron que podían evitar el empleo de disolventes, respondiendo así tanto a necesidades ambientales, como de salud y de seguridad. Watershield evitó la presencia de materiales peligrosos en un área de fabricación aeroespacial que la EPA había exentado de los reglamentos correspondientes debido a la carencia de una tecnología de reemplazo, como también a la naturaleza crítica de sus productos. Por lo tanto, Watershield logró evitar la utilización de materiales peligrosos sin tener que acatar un requisito reglamentario específico.

**Zyvax Incorporated**

# Propuestas de la Industria y el Gobierno

**Morton International, Inc.**

## *Estabilizador Orgánico ADVAFLEX™*

ADVAFLEX™ es una novedosa línea de estabilizadores térmicos del PVC aplicado en productos flexibles del mismo polímero. El PVC es un polímero versátil con múltiples aplicaciones útiles, pero no puede ser procesado sin la presencia de estabilizadores térmicos. La tecnología convencional de estabilizadores para PVCs flexibles se basa en mezclas complejas de hasta 10 componentes, cuyos principales ingredientes activos incluyen compuestos como el plomo, el cadmio y el bario y un contenido metálico que varía entre el 8 y el 10%. La mayoría de dichos ingredientes se producen a partir de fuentes no renovables, además de que muchos son peligrosos para la salud y el medio ambiente.

El ADVAFLEX™ representa un concepto totalmente nuevo en la tecnología de los estabilizadores térmicos del PVC que ofrece muchas ventajas sobre sus contrapartes convencionales. En primer lugar, este es un sistema de dos componentes que se basa en una nueva química con azufre orgánico y contiene bajos niveles de activadores metálicos como el zinc. Sus ventajas funcionales comprenden un comportamiento térmico excelente, costos competitivos, buenos atributos de desempeño secundario, compatibilidad con la química de coaditivos y simplicidad en la formulación del PVC. Los beneficios para la salud y el medio ambiente comprenden un muy bajo contenido metálico (tan bajo como el 0.4%), bajo olor, baja volatilidad, la eliminación del bario, cadmio, plomo, fósforo y alquifenol, así como de otros compuestos químicos aromáticos que se emplean en la tecnología convencional. Rigurosos controles de toxicidad demostraron que el producto es esencialmente atóxico, ni mutagénico, ni cancerígeno, ni peligroso para el medio ambiente. Los activadores metálicos en las formulaciones de ADVAFLEX™ son generalmente introducidos en cantidades catalíticas y el metal más empleado es el zinc, un elemento natural de la dieta humana. La tecnología ADVAFLEX™ es una alternativa comercialmente atractiva y superior en todos los aspectos a la tecnología convencional, en particular por lo que se refiere a la seguridad humana y la del medio ambiente.

**IMC-Agrico Company**

## *AGROTAIN, Triamida N-(n-butil) Trifosfórica*

La urea es la forma preferida de los fertilizantes sólidos nitrogenados y, en el mercado de estos fertilizantes, está reemplazando rápidamente al amoníaco. La porción del mercado mundial de fertilizantes nitrogenados capturada por la urea ha aumentado del 5%, en 1962, al 37%, en 1986. Para la fertilización de cultivos, la urea es una fuente de nitrógeno de fácil manejo y transporte, de mayor contenido de nitrógeno que otros fertilizantes nitrogenados comunes y de fácil mezclado a granel con fertilizantes que contienen múltiples sustancias nutritivas (como el cloruro de potasio, el fosfato diamónico y otros materiales). Aunque la urea presenta muchas ventajas sobre las otras fuentes de nitrógeno y ha logrado capturar una porción creciente del mercado, tiene la gran desventaja de perder una porción considerable del nitrógeno por volatilización amoniacal. Bajo, ciertas condiciones climáticas y de suelos, esta pérdida puede exceder fácilmente el 30% del nitrógeno disponible en la urea.

AGROTAIN® es una formulación que contiene triamida N-(n-butil) tiofosfórica (NBPT), el precursor del ingrediente activo triamida N-(n-butil) fosfórica (BNPO, el análogo oxigenado del NBPT). El BNPO es sumamente inestable para ser comercializado. El



NBPT es un precursor efectivo de BNPO, un inhibidor de la enzima ureasa que impide la hidrólisis de la urea. Esta actividad es el resultado de la interacción entre la enzima ureasa y el inhibidor de la misma. No hay interacción con los microorganismos del suelo que genere la enzima ureasa. Además, el tratamiento recomendado de NBPT es sólo de 0.4 lbs/acre y el NBPT es relativamente inestable lo que no genera problemas de acumulación en suelo a largo plazo. El uso de NBPT con urea es particularmente compatible con la agricultura sin labranza. La agricultura sin labranza es un método de cultivo benigno para con el medio ambiente, que no altera la capa superficial del suelo o lo hace mínimamente, lo que provoca menor erosión y menor consumo de energía. Sin embargo, hasta la llegada del NBPT, la urea no era una opción apropiada para aplicaciones de cultivo sin labranza debido a la posibilidad de pérdidas sustanciales de nitrógeno por volatilización amoniacal.

### *Proceso de Reciclado PFC de Air Liquid*

En la lista de compuestos de perfluoro (perfluorocompounds, PFCs), se encuentran el  $C_2F_6$ , el  $CF_4$ , el  $NF_3$ , el  $CHF_3$ , el  $SF_6$  y el  $C_3F_8$ . Todos ellos son esenciales en muchos procesos de fabricación de la industria de semiconductores. Sin embargo, todos están clasificados como gases que contribuyen al efecto de invernadero; son mucho más potentes que el dióxido de carbono debido a su vida útil extremadamente prolongada y a la fuerte absorción de radiación. Los científicos de la ecología creen que estos gases pueden durar en la atmósfera hasta 50,000 años. Más de 1.6 millones de libras de PFCs fueron empleadas en 1995 por la industria de semiconductores en los EEUU, con un costo estimado de más de \$45 millones de dólares. Esta cantidad puede duplicarse para el año 2000. El gobierno de los EEUU ha respondido a su compromiso internacional (La Cumbre sobre la Tierra del 92, en Río de Janeiro) promoviendo la reducción en las emisiones de PFCs en varias industrias. La industria de los semiconductores ahora tiene dos opciones para abocarse a la reducción inmediata de las emisiones: 1) reducir el uso de estos gases a un costo financiero y ambiental elevado o 2) reciclar los PFCs mediante el proceso de Air Liquid. La Cia. Air Liquid ha desarrollado un sistema para capturar estos gases en las emisiones de los procesos industriales, concentrarlos, purificarlos y reciclarlos. Este proceso fue sometido a rigurosas pruebas de calificación bajo la supervisión de SEMATECH y demostró una capacidad de captura y concentración de los PFCs superior al 95%. En conclusión, esta tecnología promueve la protección ambiental al reducir las emisiones de PFCs y, por ende, contribuye a alcanzar el objetivo de reducción del aumento mundial de la temperatura. Esto permite a los fabricantes de semiconductores mantener las metodologías actuales y operar con menores costos que con cualquier otra alternativa de control de emisiones.

### *Análisis de Metales Pesados en Residuos Líquidos Peligrosos Mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X con Dispersión de Energía (EDXRF)*

Tradicionalmente, el análisis elemental en laboratorio de los desechos líquidos no acuosos peligrosos ha sido realizado con técnicas de plasma de argón acoplado inductivamente (Inductively Coupled Argon Plasma, ICP), así como de espectrometría de absorción atómica (Atomic Absorption Spectrometry, AAS). Sin embargo, la preparación de las muestras y los análisis generan una gran cantidad de desechos ácidos peligrosos que contienen metales pesados. La espectrometría de fluorescencia de rayos X con dispersión de energía (Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence, EDXRF) es una técnica analítica importante en laboratorios industriales, pero se le ha prestado poca atención en el campo del medio ambiente. En los últimos cinco años, el Comité D34 para la administración de desechos de la ASTM aprobó

**American Air Liquid**

**American Society for  
Testing and Materials  
(ASTM)**

formalmente dos métodos estándar de prueba para el análisis elemental de desechos líquidos mediante la espectrometría EDXRF. En muchos casos los objetivos de calidad de datos pueden alcanzarse fácilmente empleando EDXRF en lugar de ICP o AAS. En comparación con los métodos tradicionales, el beneficio ambiental más notable de la espectrometría de EDXRF es una reducción importante en la generación de residuos de laboratorio. Esto se debe principalmente a que las muestras no requieren disolución en ácidos concentrados y tampoco es necesario disolver los estándares de calibración en soluciones ácidas para luego diluirlos en grandes volúmenes. Sencillamente, las muestras y los estándares se mezclan con un sustrato no peligroso, tal como el carbono o la alúmina (óxido de aluminio), antes del análisis y la calibración. Asimismo, dada la estabilidad inherente de los sistemas EDXRF, la frecuencia de preparación y empleo de los estándares es mucho menor que con las técnicas tradicionales. La espectrometría EDXRF es una técnica compatible con el medio ambiente porque prácticamente evita la generación de desechos peligrosos en laboratorios.

### *Modificador de Fricción/Antioxidante Sin Cenizas para Lubricantes*

Los automóviles consumen aproximadamente la mitad del petróleo usado en los Estados Unidos y producen alrededor de un cuarto de los gases del efecto de invernadero. Al mejorar la economía de combustible en los automóviles se producen al menos dos grandes beneficios: la conservación de las reservas naturales de petróleo y la mejora del medio ambiente por reducción de las emisiones volátiles. Mientras los fabricantes de autos mejoran la economía del combustible aumentando la eficiencia de los motores y reduciendo el peso de los vehículos mediante el empleo de materiales más livianos de construcción, los productos que son capaces de mejorar el funcionamiento de los automotores actualmente en circulación producen un impacto más inmediato. El desarrollo de aceites lubricantes que mejoran la eficiencia de los motores se ubica en esta última categoría.

El aceite de los motores es una mezcla de materias primas derivadas del petróleo y aditivos que protegen las superficies metálicas, amplían el rango de temperaturas efectivas del lubricante y extienden la vida útil del aceite. Los aditivos de un aceite de motor típico incluyen: detergentes para mantener las superficies metálicas libres de depósitos; dispersantes para mantener las partículas insolubles en suspensión; modificadores de la viscosidad, que estabilizan la viscosidad del lubricante en un rango de temperaturas; agentes que previenen el desgaste al reducir el contacto entre las piezas metálicas; desactivadores metálicos, que reducen la fricción entre las piezas metálicas en movimiento; y antioxidantes, que reducen la oxidación y descomposición, a la vez que preservan las propiedades lubricantes durante la vida útil del aceite.

El desarrollo de una combinación de modificador de fricción y antioxidante reduce el número de aditivos que requiere el lubricante. Aún más importante, esta combinación tiene la capacidad de extender la durabilidad del modificador de fricción, lo que conduce a la obtención de mejores lubricantes. Esto, a su vez, puede afectar positivamente el kilometraje por unidad de combustible y reducir las emisiones al medio ambiente. Irgalube F10 constituye tal combinación singular y multifuncional de modificador de fricción y antioxidante sin cenizas. Químicamente, es un antioxidante fenólico de alto peso molecular con funcionalidades hidroxilo, lo que le proporciona propiedades de modificador de la fricción. Ha sido diseñado para reemplazar al mono oleato de glicerol (Glycerol Mono Oleate, GMO), un modificador que tiende a promover la oxidación a altas temperaturas y para sustituir a los ditiocarbamatos de molibdeno (Molybdenum Dithiocarbamates, MoDTC), que contienen metales y pueden formar partículas inorgánicas indeseables que se

cargan de metales durante la combustión.

Irgalube F10 se produce por la reacción del aceite de coco con el glicerol y con un antioxidante fenólico. Es el único modificador de fricción y antioxidante multifuncional sin metales disponible comercialmente en el mundo. Irgalube F10 pasó los procedimientos de prueba sobre economía de combustible de la ASTM, habiendo demostrado una mejora en la economía del combustible del 1 al 1.5% sobre el aceite estándar. Una economía de combustible del 1% tendría un impacto anual en la reducción de las emisiones de monóxido de carbono de 1.2 billones de libras, de 240 millones de libras en las emisiones de NO<sub>x</sub> y de 17 millones de libras en las emisiones de material particulado (de acuerdo con las estimaciones del National Air Quality and Emissions Trends Reports de 1996).

### *Proceso Biocatalítico y Biomimético para la Síntesis de Compuestos Nitroaromáticos Intermedios y para la Destrucción de Nitrocompuestos, Inclusive los Explosivos*

Los compuestos nitroaril y nitroheterocíclicos—presentes en antibióticos, sensibilizadores de radio, explosivos, intermediarios de tintes, herbicidas y pesticidas—requieren de una tecnología específica para la síntesis y la destrucción de nitrocompuestos. Los inventarios gigantescos de explosivos, así como la contaminación del agua, suelo y sedimentos que dichos inventarios causan en todo el mundo, son una amenaza muy seria para la humanidad, la salud y la ecología. En la actualidad ni existen tecnologías aceptables, ni recursos suficientes para desmilitarizar los depósitos envejecidos, como tampoco para limpiar la contaminación causada. Los inventarios actuales de recursos materiales energéticos que necesitan ser recuperados o eliminados (Resource Recovery or Disposition, RRD) constan de alrededor de 449,308 toneladas. Durante el año 2001, más de 1.2 millones de toneladas pasarán por o se incorporarán al inventario RRD (Joint Ordnance Commands Group, 1995).

La limpieza de los sitios donde el agua y el suelo fueron contaminados con TNT, RDX, HMX y otros explosivos compuestos de nitrógeno constituye un desafío totalmente diferente, pero en cierto sentido análogo. Actualmente, para eliminar explosivos los técnicos emplean tecnologías de incineración, así como de quema y detonación a cielo abierto. El costo de la incineración está más allá del alcance de nuestros medios y recursos. La quema y detonación a cielo abierto son ambientalmente inaceptables. Dadas estas circunstancias, los investigadores de Pacific Northwest National Laboratories (PNNL) han desarrollado una solución tecnológica que es ambientalmente compatible, tiene ventajas económicas y puede implementarse fácilmente para sustituir las tecnologías antes mencionadas.

La tecnología de destrucción del PNNL emplea enzimas (biocatalizadores) y procesos biomiméticos; la tecnología de síntesis usa sólo biocatalizadores. Se descubrió que las enzimas para este tipo de procesos son ubicuas en plantas, microorganismos y productos lácteos. Las enzimas nitroreductasas de estas fuentes son empleadas para sintetizar compuestos nitroaromáticos intermedios, tales como hidroxilaminas y aminofenoles. Por ejemplo, se usaron con éxito las enzimas nitroreductasas de la espinaca para sintetizar la fenilhidroxilamina y el p-aminofenol—éste último es un compuesto químico de importancia industrial para tintes y medicamentos para el dolor de cabeza—a partir del nitrobeneno.

Las enzimas de la espinaca también se emplearon para sintetizar el 4-hidroxilamino-2,6-dinitrotolueno, que puede emplearse en la producción de antioxidantes, a partir del 2,4,6-trinitrotolueno o TNT. Este proceso de conversión del TNT proporciona una alternativa a costo “cero” para eliminar los inventarios inútiles de TNT que se encuentran alrededor del mundo. A diferencia de la incineración, el proceso biomimético del PNNL,

basado en el superóxido de potasio, destruye los explosivos en condiciones moderadas de reacción. Por el contrario de lo que sucede en otros procesos, esta tecnología destruye y sintetiza nitrocompuestos a temperatura ambiente, sin el empleo o producción de solventes orgánicos. Estos procesos nuevos utilizando una enzima junto con la tecnología biomimética proporcionan un método benigno para el medio ambiente, el cual es seguro y económicamente eficiente para la síntesis y la destrucción de nitrocompuestos, inclusive la de los explosivos.

### *El Programa de Cinética Química*

Los simuladores informáticos representan una poderosa herramienta para minimizar los desechos generados por la experimentación física durante el desarrollo y la optimización de procesos—un flujo de desechos al que normalmente no se le presta atención en los programas de química verde. No obstante, el efecto potencial de las simulaciones no se aprovechará completamente a menos que sea ampliamente accesible para todos los interesados dentro de una organización. El programa Simulador de Cinética Química (Chemical Kinetics Simulator, CKS), desarrollado para tal fin por IBM en el Centro de Investigación de Almaden, es un paquete informático para usos múltiples y de fácil empleo, el cual permite predecir los resultados de reacciones para una amplia variedad de sistemas gaseosos, en solución y sólidos en reactores estáticos y de flujo. El método básico de computación tiene un fundamento teórico firme y ha sido mejorado considerablemente con nuevos algoritmos patentados en los EEUU. El CKS ha sido usado en IBM durante tres años para la investigación y el desarrollo de procesos. Desde mayo de 1996, este paquete está disponible a nivel mundial con licencia gratuita en Internet (World Wide Web) y, dada su extraordinaria facilidad de uso y funcionalidad, está siendo usado por muchas industrias para la investigación y el desarrollo de procesos. Asimismo, se han otorgado numerosas licencias de operación para desarrollar modelos y evaluar riesgos tanto a investigadores del medio ambiente de centros universitarios, como a laboratorios comerciales y gubernamentales, así como a agencias reguladoras del medio ambiente.

### *Procesamiento Sin Cloro de Chatarra de Aluminio*

Según información del Servicio de Exploración Geológica de los EEUU (U.S. Geological Survey), el consumo anual de chatarra de aluminio de los EEUU alcanza el monto de 724 millones de libras. Además de la chatarra proveniente de envases de bebidas, que se procesa de manera independiente, el grueso del aluminio lo consume la industria secundaria del aluminio. A pesar de que la chatarra se selecciona cuidadosamente para que cada lote satisfaga las especificaciones del producto, la colada de fundición normalmente contiene hasta 1.0% de magnesio (Mg). Dado que las especificaciones de la mayoría de las aleaciones de aluminio para estampado fijan contenidos de Mg menores al 0.1%, la colada generalmente debe ser depurada. El exceso de Mg es eliminado mediante la adición de cloro gaseoso ( $\text{Cl}_2$ ) o, ocasionalmente, de  $\text{AlF}_3$ . La mayoría de las reacciones para la remoción del Mg emplean  $\text{Cl}_2$ , lo que en la práctica acarrea el uso de 6 lb de  $\text{Cl}_2$  gaseoso para remover 1 lb de Mg en forma de  $\text{MgCl}_2$  (aproximadamente 4,500 lb de  $\text{Cl}_2$  por cada lote). Ambas técnicas requieren de un manejo cuidadoso de los materiales para garantizar la seguridad de los operadores y acatar los controles de la contaminación del aire, asegurando así la protección del medio ambiente. Si se usan columnas de lavado líquido en los sistemas de control de contaminación del aire, se capturan los gases de cloro en el agua y esta última requiere tratamientos adicionales para satisfacer sus respectivos estándares de pureza.

Un modelo ideal constaría de la remoción y la recuperación del Mg de la colada mediante

el empleo de una tecnología más segura y limpia, tal que no requiriera la adición de  $\text{Cl}_2$  gaseoso o de  $\text{AlF}_3$  y que sólo introdujera un número mínimo de etapas al proceso. El Centro de Investigación de Albany (Albany Research Center, ALRC) condujo investigaciones muy exitosas sobre la síntesis y las propiedades de depuración de óxidos cerámicos que son conductores iónicos, tales como el titanato de litio ( $\text{Li}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ ), aplicadas a la eliminación del Mg de las coladas de chatarra de aluminio. El proceso, conocido como tecnología de compuesto de depuración (barrido) de diseño especial (Engineered Scavenger Compound, ESC), ofrece una alternativa a la tecnología tradicional de remoción del Mg y presenta claras ventajas en cuanto a la seguridad y/o la protección del medio ambiente. La tecnología ESC no genera emisiones de cloro ni tampoco escorias difíciles de eliminar. La reacción de ESC es fácilmente reversible pues, a diferencia de las sales resultantes del antiguo proceso, el material recuperado queda disponible para ser reprocesado como producto metálico.

### *Descubrimiento Importante para Motores Diesel No Contaminantes: Disminución Simultánea de la Emisión de Partículas y Óxidos de Nitrógeno Durante la Combustión*

La contaminación del aire con óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y partículas en suspensión—creada principalmente por los motores diesel, en especial en zonas urbanas—es uno de los problemas ambientales contemporáneos más difíciles de tratar. Las partículas en suspensión contienen compuestos orgánicos potencialmente cancerígenos o mutagénicos. Los óxidos de nitrógeno contribuyen a la formación de la lluvia ácida, al aumento del ozono a nivel del terreno y al incremento del smog. Aunque desde hace tiempo se sabe que el enriquecimiento con oxígeno de la mezcla en los motores diesel reduce la emisión de partículas, esta tecnología no ha resultado viable dado que también aumenta la emisión de  $\text{NO}_x$ . El Laboratorio Nacional de Argonne (Argonne National Laboratory, ANL) ha superado esta barrera técnica al crear una tecnología de enriquecimiento con oxígeno que a la vez disminuye la emisión de partículas y de  $\text{NO}_x$ . Esto se logró tan sólo con un enriquecimiento moderado del nivel de oxígeno en el aire de entrada del motor, así como con la optimización de las condiciones del combustible.

El descubrimiento se produjo cuando el ANL probó una novedosa combinación de tres cambios en las condiciones de operación de los motores: 1) aumento del contenido de oxígeno en el aire de entrada del motor, 2) retardo de tiempos de inyección del combustible y 3) aumento del flujo de combustible. Las pruebas del ANL fueron las primeras donde se ajustaron los tres parámetros simultáneamente, ya que las estrategias antes empleadas sólo ajustaban dos de estas condiciones. Esta tecnología innovadora se hizo factible gracias al desarrollo de una avanzada membrana compacta de polímero, la cual es de diseño pasivo y puede adaptarse a motores existentes. Se espera que el costo de la producción a escala comercial sea modesto (\$75 a \$160 dólares) en comparación con las trampas para partículas (\$200 dólares más 2 centavos por galón en costos de operación) y los convertidores catalíticos para el tratamiento del  $\text{NO}_x$  (\$300 dólares más el mantenimiento periódico).

Esta es la primera tecnología de enriquecimiento de oxígeno que reduce simultáneamente el  $\text{NO}_x$  (en un 15%) y la emisión de partículas (en un 60%). Es una tecnología integral aplicada al cilindro que soluciona el problema de las emisiones en la fuente de producción, que no disminuye la potencia del motor (de hecho incrementa la potencia bruta en un 18%) y que mejora la eficiencia del combustible (disminución del 2 al 10% en el consumo de combustible específico de prueba de freno en el rango completo de carga en un programa de

evaluación motriz). Esta singular tecnología será fundamental para los fabricantes de motores diesel, quienes deben responder a la necesidad de sus clientes de reducir las emisiones establecidas en los estándares reglamentarios, a partir de los modelos del año 2002.

### *Diseño de un Inhibidor de la Corrosión del Cobre, Compatible con el Medio Ambiente, para Sistemas de Refrigeración*

Las aleaciones de cobre son de uso generalizado en los sistemas de refrigeración industrial debido a sus atractivas propiedades de transferencia de calor. Sin embargo, si no están protegidas por un inhibidor dichas aleaciones sufren corrosión. La corrosión produce compuestos de cobre extremadamente tóxicos que se dispersan en el medio ambiente. Los compuestos de azol son los mejores inhibidores de la corrosión del cobre comercialmente disponibles y, en general, ofrecen muy buena protección. El tolyltriazol (tolyltriazole, TTA) es el azol de uso más frecuente y es considerado como el estándar industrial. Sin embargo, estos compuestos presentan la seria desventaja de no ser compatibles con los halógenos oxidantes, tales como el cloro o el bromo. Estos halógenos son los productos químicos de uso más común para el control microbiológico en los sistemas de refrigeración de agua. El TTA reacciona con el cloro para formar un compuesto clorado que no protege al cobre. Normalmente, cuando se pierde la protección anticorrosiva se aumentan las cantidades de TTA para contrarrestar la reacción con el cloro y mantener un nivel residual lo suficientemente alto como para proteger las superficies de cobre. Normalmente se aplican altas dosis de TTA para mejorar el desempeño, aunque a menudo el éxito es limitado.

BetzDearborn ha desarrollado un nuevo azol resistente a los halógenos (Halogen-Resistant Azole, HRA), el cual no reacciona con el cloro y protege al cobre aún en presencia del cloro. La sustitución del TTA tradicional por este nuevo compuesto ofrece importantes beneficios para el medio ambiente. Ello quedó demostrado en un experimento realizado en una planta eléctrica nuclear que utilizaba cloro para el control microbiológico. En esta prueba, se comparó el HRA con el TTA en función de la tasa de corrosión del cobre y de la toxicidad de las descargas. Después de examinar las descargas quedó demostrado que los compuestos que contienen cobre, derivados de la corrosión de este material, representan la causa más significativa de toxicidad para las especies acuáticas.

En comparación con el del TTA, el empleo de HRA disminuyó en cinco veces la cantidad de cobre liberada al medio ambiente. Dado que el HRA no reacciona con los biocidas oxidantes, se necesita una cantidad considerablemente menor de cloro o bromo para prevenir la actividad microbiológica. En dicha planta eléctrica nuclear, se disminuyó el empleo de cloro entre 10 y 20%, mientras que en otras plantas industriales esta disminución alcanzó entre 35 y 40%. La reducción en la cantidad necesaria de cloro o bromo implica, en última instancia, una disminución en la cantidad de compuestos de cloro o bromo liberados en el agua residual. Además, en comparación con las del TTA, se necesitan concentraciones considerablemente menores de HRA para proteger las aleaciones de cobre. En el experimento en la planta eléctrica nuclear, la reducción de cinco veces en las descargas de cobre se obtuvo con solo 2.0 ppm de HRA, comparadas con 3.0 ppm de TTA. Asimismo, un balance de masa demostró que sólo el 9% del TTA fue recuperado (comparado con el 90% del HRA). El motivo de tal pérdida de TTA fue su reacción con el cloro para formar azol clorado. Por lo tanto, el empleo de HRA produjo una reducción neta en la cantidad y tipos de azol y de azol halogenado que se liberaron al medio ambiente. Finalmente, al medir directamente el parámetro LC50 de toxicidad aguda en peces pequeños de los afluentes de la planta nuclear, se demostró que esta se redujo al reemplazar el TTA con el HRA.

## *Diseño de una Alternativa de Cloro Compatible con el Medio Ambiente (STABREX)*

El tratamiento del flujo de agua industrial es necesario tanto para conservar energía, como para asegurar un abastecimiento sustentable de agua. El tratamiento del agua se centra fundamentalmente en el control de los procesos que deterioran las superficies y, es necesario controlar simultáneamente las tres manifestaciones de estos procesos (microbiano, de incrustaciones y corrosivo). De estas tres manifestaciones, el proceso de deterioro microbiológico en el tratamiento del agua requiere la aplicación del producto potencialmente más peligroso—se usa mucho más cloro para el control microbiológico que cualquier otro compuesto químico. Es menester encontrar una alternativa al cloro que posea mayor compatibilidad con el medio ambiente porque: el gas es peligroso; el líquido no es estable; el cloro es demasiado volátil; sus remanentes libres no controlan eficientemente las películas microbianas; sus remanentes combinados no son muy efectivos; la reactividad con los inhibidores de la corrosión y las incrustaciones es contraproducente; y los subproductos de la desinfección son tóxicos.

El compuesto químico STABREX para el control de microorganismos es un nuevo hipobromito líquido estabilizado, diseñado para imitar al bromo estable antimicrobiano que produce el sistema inmunológico humano de forma natural. STABREX es el primer biocida biomimético industrial. Químicamente, es análogo al producto antimicrobiano del estallido respiratorio oxidativo (oxidative respiratory burst) en los eosinófilos, un tipo de glóbulo blanco sanguíneo de los mamíferos. Recientemente se demostró que estas células consumen oxígeno en un proceso que produce bromo estable antimicrobiano. En los eosinófilos, el HOBr, producido a partir de la oxidación enzimática del bromo con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, reacciona inmediatamente con el ácido 2-aminoetanosulfónico (taurina). El producto de esta reacción de estabilización es un potente agente antimicrobiano, el ácido N-bromoaminoetanosulfónico que sirvió de modelo para el diseño de STABREX.

Los beneficios del diseño y del desempeño del compuesto químico para el control de microorganismos STABREX se demostraron en 100 billones de galones de agua industrial tratada exitosamente, a partir de su introducción en el mercado en 1997. El producto es útil en cualquier lugar donde el agua industrial es reutilizada, como por ejemplo en: el agua reciclada para refrigeración; toda clase de procesos de manufactura, ligeros o pesados; los purificadores húmedos de aire; las plantas pasteurizadoras; y los esterilizadores hidrostáticos. STABREX ha reemplazado a 20 millones de libras de cloro, o su equivalente, en aplicaciones en todo el mundo. Comparado con el cloro, este nuevo producto posee cuando menos 10 veces menor toxicidad, genera 50% menos de subproductos tóxicos de desinfección, es mucho más efectivo en el control de películas de microorganismos, es varios órdenes de magnitud menos volátil, es mucho más simple de manipular y dosificar, es 50% menos reactivo con otros compuestos químicos para el tratamiento del agua y su degradación es un orden de magnitud menor durante el almacenamiento y el transporte. STABREX funciona mejor, además de ser más seguro y más fácil de usar que las actuales alternativas con cloro.

## *Diseño de Compuesto Químicos Más Seguros: Tinta Spitfire*

A medida que la era de la información atraviesa nuevas etapas, se ha hecho evidente un nuevo paradigma en la industria de la impresión. Con el avance de la tecnología de computación se ha creado una demanda creciente de dispositivos de impresión. En los últimos 10 años, esta industria en crecimiento ha permanecido en una etapa incipiente. Se

han empleado diversos sistemas químicos, con una multiplicidad de dispositivos de impresión electrónicos y/o mecánicos, dirigidos fundamentalmente al uso de las oficinas. Los dispositivos de impresión basados en computadoras consumen grandes volúmenes de compuestos químicos (tintas, resinas, colorantes, disolventes, etc.) y han avanzado tan rápidamente que ahora ya desafían a las tecnologías tradicionales de impresión. Un sistema químico de avanzada es el de la tinta de cambio de fase. Los múltiples atributos de la tinta de cambio de fase la colocan como serio contendiente para ocupar una posición de liderazgo en la industria de la impresión, en reemplazo de alternativas menos compatibles con el medio ambiente. La tinta de cambio de fase, también conocida como tinta de fusión en caliente o tinta sólida, supera muchas de las limitaciones de los procesos, métodos y tintas de impresión tradicionales y reconocidos (por ejemplo, el offset, la flexografía, la calcografía y la prensa).

Las oportunidades que abren las tintas de cambio de fase son enormes, de igual proporción a la de los avances realizados. El desarrollo químico de la tinta de cambio de fase ha resuelto exitosamente la reducción de la fuente de producción de contaminantes; la prevención de la contaminación; los estándares de emisión; la contaminación de aguas subterráneas; la emisión de partículas aéreas; la reducción de los desechos; la exposición de trabajadores y consumidores; y la reducción de compuestos químicos peligrosos y de compuestos no reutilizables. Las técnicas de impresión tradicionales, que frecuentemente tienen desventajas para el trabajador y el medio ambiente, ahora pueden ser reemplazadas con una tecnología moderna alineada con la complejidad temática de la “química verde.” Tektronix comercializa y fabrica tintas de cambio de fase (Tinta Spitfire), en un conjunto de cuatro colores de procesos de sombra, para impresoras de color también fabricadas por Tektronix. El diseño químico de las Tintas Spitfire tomó como punto de partida la seguridad del operador de fabricación, del consumidor y del medio ambiente, además del esperado desempeño técnico durante su empleo. Un análisis retrosintético que tomó en cuenta estos requisitos primarios dio como resultado la síntesis de nuevas resinas insolubles en agua, las cuales no necesitan disolventes orgánicos volátiles (Volatile Organic Compounds, VOCs) para su fabricación o uso, permiten una fabricación segura, cumplen con el “espíritu e intención” de las reglamentaciones ambientales y proporcionan una tecnología flexible para una industria en expansión. Todos estos objetivos se cumplieron mediante un diseño previsor que se orientó hacia compuestos químicos más seguros y los incorporó en la Tinta Spitfire de Tektronix.

### *Polímero Antineblina AMPS® de Alta Durabilidad para Fluidos Acuosa en el Procesamiento de Metales*

En plantas industriales de manufactura metálica, la generación y acumulación de neblinas de fluidos durante el procesamiento de metales (Metalworking Fluids, MWF) dan origen a problemas para la salud y la seguridad de los trabajadores. Se estima que alrededor de 1.2 millones de trabajadores por año son potencialmente expuestos a los MWFs. En respuesta a las crecientes preocupaciones sobre los efectos de las neblinas de MWF en la salud de los trabajadores, el Sindicato Unido de Trabajadores de la Industria Automotriz (United Auto Workers Union) ha solicitado al Departamento de Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration) que disminuya el límite de tolerancia a la exposición (Permissible Exposure Limit, PEL) a neblinas de aceites en ambientes laborales, del nivel actual de 5, a 0.5 mg/m<sup>3</sup>. Los métodos actuales de control de la exposición a neblinas tienen desventajas. Por ejemplo, tanto los controles de neblina basados en aparatos medidores ubicados dentro de compartimentos, como la recolección y la evacuación de neblinas tienen costos exorbitantes de instalación y mantenimiento. El segundo método de



control de neblina, basado en el empleo de polímeros de alto peso molecular como los aditivos antineblina (antimist, AM) para MWFs acuosos, tal método no ha sido ampliamente aceptado porque el polímero AM sufre deterioro en su capacidad cuando es sujeto a la aplicación de esfuerzos de corte, lo que obliga a frecuentes adiciones de dicho polímero para poder mantener un desempeño efectivo.

El desarrollo en Lubrizol de polímeros AMPS® de alta durabilidad soluciona dicho problema. Estos polímeros suprimen la formación de neblinas en la fuente productora, por medio de una estabilización de los MWFs que se contraponen a la formación de las pequeñas gotas que como neblina suspendidas en el ambiente de la planta. La reducción de la neblina minimiza la exposición de los trabajadores a los compuestos químicos de los MWFs, así como a otros contaminantes presentes en la neblina, lo que crea un ambiente de trabajo más seguro. Dado que son estables a la degradación por esfuerzo cortante, los polímeros AMPS® proporcionan una reducción de neblina de larga duración. El empleo y el desempeño de los polímeros AMPS® fueron evaluados con pruebas en fábricas pequeñas y en grandes plantas industriales de la Cia. Ford. Los resultados de las pruebas en las fábricas pequeñas demostraron que una aplicación de 1,000 ppm de los polímeros AMPS® produjo una reducción estable del 60% de la neblina. En los ensayos de las grandes plantas de Ford Motor Company, una aplicación de 1,000 ppm de los polímeros AMPS® produjo una reducción estable de la neblina del 40 al 60% en el ambiente de la planta, por más de dos meses. La respuesta de los trabajadores a los niveles reducidos de neblina durante estos ensayos fue muy positiva. Inmediatamente después de haber sido agregados los polímeros, se percibió una marcada mejora en la calidad del aire de la planta, una mejora general de las condiciones de trabajo y mejoró también la condición de los pisos (menos resbalosos) al disminuir la condensación de la neblina de aceite.

El polímero AMPS® proporciona un método económico para la supresión de la generación de neblina y para el control de la exposición, ya que brinda la supresión de la neblina por largos períodos a bajas concentraciones (en ppm). El empleo de este polímero requiere de menos trabajo, ya que se dispersa fácilmente en los MWFs y no es necesario reponerlo de manera frecuente. Los polímeros son fabricados como soluciones acuosas y no contienen compuestos orgánicos volátiles. Rigurosas pruebas sensoriales de inhalación y de toxicidad dérmica demostraron que, en condiciones de uso normal, los polímeros AMPS® presentan una toxicidad mínima. La evaluación del tratamiento de aguas residuales demostraron que dichos polímeros no afectan las características de tratamiento de los MWFs acuosos.

### *Un Catalizador de Hidrodechloración Durable para la Conversión Selectiva del CCl<sub>4</sub> en CHCl<sub>3</sub>*

En 1987 se firmó el protocolo de Montreal, el cual exigió la disminución de la producción y el uso de clorofluorocarbonos a los niveles de 1986, seguida de una serie de reducciones hasta llegar a su completa eliminación el 1° de enero de 1996. Una prohibición similar se aplicó al tetracloruro de carbono (CCl<sub>4</sub>), también debido a problemas del medio ambiente asociados al adelgazamiento de la capa de ozono, al aumento mundial de la temperatura y a la concentración del smog a nivel del terreno. Sin embargo, el tetracloruro de carbono se forma como subproducto de la elaboración del cloruro de metileno y del cloroformo. Se estima que el excedente de producción de CCl<sub>4</sub>, en los EEUU y en Europa, es de 60,000 toneladas anuales. La eliminación de este subproducto—generalmente por incineración—se ha convertido en un problema ambiental y en una carga económica para los fabricantes de cloruro de metileno/cloroformo.

**Akzo Nobel**

**Servicio Forestal del  
Departamento de  
Agricultura de los EEUU**

La hidrodechloración del  $\text{CCl}_4$  en cloroformo es una alternativa atractiva para evitar la eliminación por incineración. Hasta ahora, la conversión catalítica de  $\text{CCl}_4$  a  $\text{CHCl}_3$  era problemática debido a la falta de un catalizador apropiado, la falta de selectividad, la baja eficiencia de conversión y la desactivación del catalizador. Akzo Nobel descubrió una solución ingeniosa basada en el tratamiento de un catalizador de platino, del tipo de cáscara de huevo (egg shell type), usando óxido de aluminio como soporte, con una solución de cloruro de amonio. Este método produce un catalizador extremadamente durable y con una alta conversión de  $\text{CCl}_4$  a  $\text{CHCl}_3$ , el cual resiste la desactivación durante más de 2,000 horas de uso. Ello, a diferencia de los catalizadores no tratados que fueron desactivados rápidamente y provocaron la caída de la conversión del 90 al 2% en una hora. El catalizador tratado proporciona un método eficiente y a un costo razonable, para la conversión del tetracloruro de carbono a cloroformo. Akzo Nobel BU Base Chemicals está avanzando en la aplicación de esta tecnología en sus plantas y podría ofrecer licencias para su uso comercial en el futuro.

### *Un Proceso Libre de Efluentes Que Utiliza Oxígeno en Lugar de Compuestos de Cloro en el Blanqueado de la Pulpa de Madera*

NOTA: Este proyecto es el resultado de la colaboración entre el Departamento de Agricultura de los EEUU y el Profesor Craig Hill de Emory University. La propuesta fue presentada de manera independiente por cada una de las partes involucradas y, por lo tanto, fue evaluada en la categoría industrial y en la académica. La sinopsis del proyecto aparece en la sección de propuestas académicas, en la página 14.

**Revlon Consumer  
Products Corporation**

### *ENVIROGLUV™: Un Método para Decorar Vidrio Usando Tintas Curables con Radiación Compatibles con el Medio Ambiente*

Billones de artículos en envases de vidrio se venden cada año en los EEUU. La mayoría de estos recipientes, si no es que todos, son etiquetados de alguna manera. Normalmente se aplican marcas decorativas al vidrio mediante el empleo de etiquetas de papel, de calcomanías o con un proceso conocido como etiquetado de aplicación cerámica (Applied Ceramic Labeling, ACL). El ACL comprende, primero, la impresión sobre el vidrio con una tinta que contiene varios metales pesados—tales como el plomo, el cadmio, el cromo y otros—seguida de la adhesión de la tinta mediante la cocción en un horno de recocido a temperaturas de 1,000 °F, o más altas, por varias horas.

Todos estos procesos tienen desventajas. Las etiquetas de papel son costosas y fácilmente removidas si el envase se expone al agua o a la abrasión. Las calcomanías son costosas y difíciles de aplicar a las altas velocidades de producción en línea requeridas por los procesos de decoración de la mayoría de los envases industriales. Además, las calcomanías están fabricadas de materiales que no son biodegradables, lo que genera problemas serios durante el reciclado de tales envases. Por su parte, el empleo y la eliminación de metales pesados en el ACL genera varios problemas ambientales. Además, la alta temperatura de los hornos que requiere el etiquetado con ACL consume cantidades considerables de energía y crea problemas de seguridad laboral y de las instalaciones de producción. Asimismo, las tintas empleadas en este proceso contienen compuestos orgánicos volátiles (Volatile Organic Compounds, VOCs) que generan emisiones indeseables.

La tecnología Envirogluv, desarrollada por Revlon, rompe las barreras de la industria de la

decoración del vidrio con la producción estéticamente satisfactoria de recipientes decorados, de alta durabilidad y a costos razonables pero de manera compatible con el medio ambiente y con un consumo eficiente de energía. Envirogluv permite una presentación sofisticada, semejante a la que se alcanza con el ACL, pero sin complicaciones indeseables para el medio ambiente y la salud. Además, los envases de vidrio decorados con Envirogluv son completamente reciclables.

Las formulaciones de las tintas empleadas en el proceso Envirogluv no requieren metales pesados y contienen una cantidad mínima—o nada—de VOCs. Todos los pigmentos empleados son orgánicos y biodegradables. Las tintas Envirogluv se curan directamente sobre el vidrio mediante la exposición a la radiación ultravioleta, en lugar de la cocción en hornos a altas temperaturas. Evitar la utilización de los hornos de recocido en el proceso de decoración del vidrio produjo múltiples beneficios ambientales y de seguridad, como son la disminución del consumo de energía, la reducción de la posibilidad de lesiones por quemadura o exposición a altas temperaturas, así como un empleo más eficiente y económico del espacio de la planta. Envirogluv es económica en función del costo unitario, lo que la convierte en una alternativa comercial viable para los decoradores del vidrio.

## *Agentes Antibacterianos Benignos para el Medio Ambiente*

Dados sus nocivos efectos ambientales sobre arroyos y cuencas fluviales, muchos agentes efectivos de acción antibacteriana para el cuidado personal y de la salud, también usados en materiales textiles y sustratos fibrosos, actualmente no están disponibles en el mercado, o su uso está restringido. Los fenoles y bisfenoles clorados están bajo escrutinio porque su estructura es semejante a la de los bifenilos policlorados (polychlorinated biphenyls, PCB), o porque potencialmente podrían conducir a la formación de la dioxina, cuya toxicidad es muy alta. El uso del tributilo de estaño y de los óxidos de estaño trialkilados está siendo legalmente restringido o muy controlado por sus efectos adversos en las fuentes de abastecimiento de agua. Por lo tanto, se ha hecho necesario encontrar agentes antibacterianos nuevos y ambientalmente benignos para reemplazarlos. Además, sería de gran utilidad que los nuevos agentes tuviesen una función química compatible con los procesos de blanqueado usados en las industrias de las fibras y del papel, los cuales emplean de forma creciente el peróxido de hidrógeno, compatible con el medio ambiente, en lugar de los agentes blanqueadores deletéreos como el hipoclorito u otros agentes clorados.

Tales agentes, nuevos y ambientalmente benignos, ya han sido sintetizados y patentados. El hidroperoxiacetato de magnesio (magnesium hydroperoxyacetate, MHPA) y el dihidropéroxido de magnesio (magnesium dihydroperoxide, MDHP) se elaboran calentando una solución acuosa de los dos reactivos bajo condiciones muy cuidadosamente controladas para crear un producto dispersable en agua. Estas nuevas composiciones tienen una proporción de oxígeno activo o contenido de peróxido que abarca del 1 al 30%. Estos nuevos compuestos se activan con bacterias representativas gram positivas (*Staphylococcus aureus*) y bacterias gram negativas (*Klebsiella pneumoniae*), son estables hidrolíticamente a temperatura ambiente por largos períodos (al menos 60 días) y estables térmicamente por debajo de los 350 °C.

La fijación de las dispersiones acuosas de estos agentes en una variedad de tipos de fibras y agregados textiles ha sido demostrada, como también se ha demostrado la duración de su actividad antibacteriana durante un largo plazo después del lavado. Debido a las características particulares de la superficie de las fibras de algodón en la tela tejida, la actividad contra bacterias representativas gram negativas y positivas se mantuvo aún después de 50

**Centro de Investigación  
Regional del Sur,  
Departamento de  
Agricultura de los EEUU**

lavados (con una reducción del crecimiento bacteriano del 99.3% o mayor). Estos agentes también han sido aplicados a una variedad de materiales textiles no hilados compuestos de pastas celulósicas de algodón y de madera. Por lo mismo, estos materiales ofrecen el beneficio adicional de ser más apropiados para fibras renovables—algodón o fibras celulósicas derivadas de la pulpa de madera—que para fibras sintéticas no renovables—poliéster y polipropileno. Además, dado que las fibras de celulosa son blanqueadas con peróxido de hidrógeno, estos agentes tienen un desempeño químico compatible con los procesos de purificación existentes. Potencialmente, estos agentes también pueden ser empleados en otras aplicaciones una vez que se lleve a cabo la evaluación correspondiente (por ejemplo, enfermedades de la piel, pastas dentales, desactivación de virus).

### *Un Adhesivo Sensible a la Presión y Compatible con el Medio Ambiente*

Cada año, el Servicio de Correos de los EEUU (U.S. Postal Service, USPS) vende alrededor de 42 billones de estampillas. Estas ventas producen una ganancia de más de \$7 billones. En total, el USPS gasta alrededor de \$200 millones de dólares para producir alrededor de 50 billones de estampillas al año. Debido a su demanda, el USPS ha emitido diferentes estampillas que no necesitan humedecerse (autoadhesivas). Sin embargo, remover los adhesivos sensibles a la presión (Pressure Sensitive Adhesives, PSAs) del papel recuperado constituye un serio problema para la industria del reciclado. Dado que el USPS compra actualmente alrededor del 12 al 15% de la producción doméstica de PSA y produce un alto porcentaje de estampillas autoadhesivas (82%), dado que el público usuario exige comodidad y dadas las consideraciones higiénicas, se hace necesario atacar los problemas ambientales. Con el desarrollo de estas nuevas estampillas con PSA ha surgido la preocupación de un cierto segmento de la industria y del público sobre su impacto ambiental. Ni el adhesivo mismo ni la correspondiente capa de desprendimiento son reciclables o convertibles en pulpa.

El USPS emprendió el programa PSA Benigno para el Medio Ambiente, como parte de su compromiso para desarrollar estampillas y productos postales que no tengan un efecto adverso sobre el medio ambiente. El propósito de este programa es desarrollar un PSA ambientalmente benigno, que a la vez sea capaz de cumplir con los estándares del USPS. Esto significa que cada componente del producto (la base de papel, la capa de adhesivo y la capa de desprendimiento) no sólo debe poseer un desempeño que satisfaga los requisitos para estampillas postales del USPS, sino que también debe contar con las propiedades necesarias para ser considerado benigno para el medio ambiente. Una vez que el adhesivo sea desarrollado, puesto a prueba e introducido en el mercado, entonces el USPS espera expandir su uso a otros productos postales.

Debido a la popularidad y el uso generalizado de las estampillas postales con PSA, el USPS ha asumido el liderazgo en la solución de este complejo problema. El USPS es uno de los consumidores más importantes de PSA. El identificar y desarrollar productos superiores de PSA, tales que cumplan con las exigentes normas de desempeño de las estampillas postales, le permite al USPS imponer el uso de dichos materiales en todos los futuros productos postales y contribuye a resolver los problemas de contaminación en el reciclado de los desechos de papel postal o de consumo.

## *Montajes Supramoleculares de Hidroquinonas Ambientalmente Benignos en la Fotografía Polaroid de Revelado Instantáneo*

NOTA: Este proyecto es el resultado de la colaboración entre Polaroid Corporation y el Profesor John Warner de la Universidad de Massachusetts, Boston. La propuesta fue presentada de manera independiente por cada una de las partes involucradas y, por lo tanto, fue evaluada en la categoría industrial y en la académica. La sinopsis del proyecto aparece en la sección de propuestas académicas, en la página 16.

## *Síntesis Ambientalmente Benigna de Mezcla de Monoglicéridos Acoplada al Enriquecimiento por Fraccionamiento Supercrítico de Fluidos.*

La extracción o fraccionamiento supercrítico de fluidos (respectivamente Supercritical Fluid Extraction, SFE y Fractionation, SFF) y, más recientemente, la síntesis bajo condiciones supercríticas han llamado mucho la atención como posibles alternativas a los procesos existentes que emplean disolventes o catalizadores orgánicos, los cuales necesitan ser desechados al término de la reacción. Los métodos que emplean el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) han acaparado la atención debido a la compatibilidad del CO<sub>2</sub> con el medio ambiente (toxicidad, flamabilidad). Aunque todavía nadie ha demostrado cómo se puede usar el CO<sub>2</sub> en una serie de procesos que agrupan a la síntesis, la extracción y/o el fraccionamiento—lo que crearía un proceso o planta completa con función “verde” de principio a fin.

En estudios realizados en el Centro Nacional de Investigación de Productos Derivados de la Agricultura, se han diseñado dos procesos alternativos de síntesis para producir, vía glicerólisis, mezclas de monoglicéridos que emplean CO<sub>2</sub> como catalizador o como medio de extracción/reacción acoplado con una catálisis enzimática. El primer método de síntesis usa el dióxido de carbono como catalizador o medio de transporte acoplado con una lipasa como biocatalizador, para producir mezclas con un contenido variable de monoglicéridos. Además, el mismo medio de dióxido de carbono puede ser empleado después en forma secuencial para producir un enriquecimiento de las mezclas de los glicéridos sintetizados y obtener productos cuyo contenido de monoglicéridos sea superior al 90% por peso y que, además, tengan aplicación como emulsificadores, agentes auxiliares de lubricación y aditivos alimenticios. El empleo del dióxido de carbono bajo presión puede evitar el uso de catalizadores metálicos del reactor tradicional de glicerólisis (intermitente y con agitación) y, gracias a ello, se puede obtener un producto de color menos intenso, menos oloroso y con un contenido de monoglicéridos de entre 35 y 45% por peso, dependiendo de la fuente de aceite vegetal.

De manera alternativa, el Centro Nacional de Investigación de Productos Derivados de la Agricultura ha demostrado y patentado un proceso de síntesis que emplea el CO<sub>2</sub> en estado supercrítico para disolver aceites vegetales, antes de ser transportados sobre catalizadores enzimáticos, para producir mezclas de glicéridos diseñadas con un contenido variable de monoglicéridos de entre 50 y 90% por peso. Finalmente, por acoplamiento de uno o dos procesos de síntesis con CO<sub>2</sub> y una columna de fraccionamiento por gradiente térmico, es posible emplear un procedimiento totalmente benigno para el medio ambiente en la producción y el enriquecimiento de compuestos químicos oleosos de alto valor a partir de fuentes naturales.

## *Polímeros Líquidos Ambientalmente Responsables*

Actualmente se emplean polímeros de alto peso molecular compuestos de acrilamida—en presentación de polvo o de emulsiones de agua en aceite—como agentes auxiliares de procesos o como agentes en el tratamiento de aguas de diversas industrias. Cada año alrededor del mundo, se venden para estos tratamientos alrededor de 200 millones de libras de polímeros de alto peso molecular compuestos de acrilamida, con un valor de mercado de aproximadamente un billón de dólares. La formulación en polvo genera riesgos considerables de exposición y tanto su síntesis como su empleo final requieren un uso intensivo de energía. La formulación como emulsión supera algunas de las limitaciones de la formulación seca. Sin embargo, para producir estas emulsiones se deben emplear grandes cantidades de un “vehículo” que consta de disolventes hidrocarbonados y agentes tensioactivos (surfactantes), los cuales constituyen de 30 a 40% en peso del producto final. Este “vehículo” es pasivo, su función tan sólo es permitir la fabricación de los polímeros en forma líquida, para luego ser descargado al medio ambiente a razón de 90 millones de libras por año, como un “mal necesario.” Para superar estos riesgos ambientales y de salud, Nalco introdujo una nueva formulación líquida de estos polímeros que se fabrica mediante un proceso único de polimerización por dispersión, empleando una solución salina acuosa como medio de reacción en lugar de aceites y agentes tensioactivos. Estas dispersiones, completamente solubles en agua, no contienen compuestos orgánicos volátiles por lo que eliminan los riesgos para el medio ambiente y la salud asociados con las formulaciones tradicionales.

## *Prueba de Fugas en Filtros Mediante el Empleo de Compuestos Inertes para el Ozono*

Los filtros de purificación del aire operan por adsorción de las impurezas contenidas en los flujos de aire contaminado sobre materiales microporosos con una gran superficie de contacto, como el carbón activado. Para que estos filtros funcionen apropiadamente, se debe empacar el material filtrante de forma tal que se evite la formación de canales de fugas. Las pruebas para garantizar que el material filtrante está distribuido correctamente son rutinarias y normalmente se realizan mediante el empleo de sustancias como el clorotrifluorometano (chlorotrifluoromethane, CFC-11) y el diclorodifluorometano (dichlorodifluoromethane, CFC-12). En la actualidad se sabe que los clorocarbonos pequeños, los fluorocarbonos clorados (chlorinated fluorocarbons, CFCs) y ciertos compuestos para extintores de incendios que contienen bromo (halones) son dañinos para el medio ambiente, dada su gran estabilidad ambiental en la atmósfera baja y su aptitud para liberar átomos de cloro o bromo en la estratosfera, bajo la irradiación de la luz ultravioleta. Los átomos de cloro y bromo producidos en la estratosfera catalizan la destrucción del ozono y su acción disminuye la protección contra la radiación UV que proporciona el ozono estratosférico.

Al firmarse el Protocolo de Montreal que elimina la producción de sustancias que destruyen el ozono, se inició una intensa búsqueda de compuestos para sustituir productos comunes, tales como los fluidos para sistemas de aire acondicionado o extintores de incendios. El trabajo en el Centro Edgewood de Investigación, Desarrollo e Ingeniería del Ejército de los EEUU se encaminó a la búsqueda de materiales para las pruebas de fugas en los filtros, tales que no destruyan la capa de ozono de la estratosfera terrestre y que sean capaces de detectar rápidamente problemas en el montaje de los filtros. Los materiales investigados incluyen varios fluorocarbonos hidrogenados (hydrogenated fluorocarbons, HFCs) de distinta volatilidad. Los HFCs no contienen ni cloro, ni bromo, ambos potentes destructores de la capa de ozono estratosférica. Se identificaron dos HFCs como sustitutos de los gases tradicionalmente usados en las pruebas de pérdidas en filtros, el 1,1,1,2,2,3,4,5,5,5-

decafluoropentano (decafluoropentane, HFC-4310mee) para filtros actualmente en servicio y el 1,1,1,2-tetrafluoroetano (tetrafluoroethane, HFC-134a) para filtros nuevos. Estos materiales han sido adoptados por el Ejército de los EEUU para probar la integridad de los filtros producidos para la protección respiratoria contra agentes de la guerra química.

## *Fluido de Aislamiento Eléctrico Completamente Biodegradable a Base de Aceite Vegetal (BIOTEMP™)*

**ABB Power and T&D  
Company Inc.**

La industria eléctrica usa millones de galones de fluidos derivados del petróleo para aislamiento eléctrico en transformadores y otros aparatos eléctricos. Estos fluidos tienen bajo índice de biodegradabilidad, lo que, en los últimos años, ha originado preocupaciones sobre su empleo en equipos localizados en áreas residenciales, centros de compras y vías de agua. El derrame de estos fluidos por fugas u otros mecanismos contaminaría el agua y el suelo circundante, creando una amenaza para todos los organismos vivos. Esto motivó la búsqueda de un fluido aislante más seguro y de mayor compatibilidad ambiental.

Para satisfacer esta necesidad, ABB, uno de los más grandes fabricantes de equipos eléctricos del mundo, inició en 1995 un programa de investigación y desarrollo (Research and Development, R&D). Los aceites vegetales han sido considerados como la mejor opción. Sin embargo, ninguno de los aceites vegetales comercialmente disponibles reunía los requisitos necesarios para su uso inmediato, por la presencia de componentes indeseables, por su baja resistencia a la oxidación y por su alto contenido de impurezas conductoras de la electricidad. El proyecto de investigación se concentró en: 1) selección de un aceite de base apropiado, 2) refinación del aceite hasta obtener una pureza de grado eléctrico y, 3) obtención de estabilidad ante la oxidación por exposición periódica y prolongada a la atmósfera.

Se seleccionaron aceites con un alto contenido de ácidos grasos monosaturados, es decir, más de un 75%. Estos aceites están constituidos principalmente por ácido oleico y se obtienen de semillas genéticamente modificadas. Son inherentemente más estables que los aceites con un contenido apreciable de ácidos grasos di y tri-insaturados. Se logró un refinamiento adicional con el empleo de adsorbentes derivados de arcillas de una gran superficie de contacto. La resistencia a la oxidación fue lo más difícil de lograr porque los antioxidantes disponibles en el mercado también son buenos conductores eléctricos. Mediante pruebas exhaustivas se desarrolló un sistema antioxidante de tres componentes que no incrementa apreciablemente la conductividad eléctrica. Finalmente, se agregó un nivel de aditivos—mismos que están clasificados como aditivos para productos alimenticios—inferior a los límites reglamentarios de la FDA.

Se llevaron a cabo pruebas extensas con el nuevo fluido. La biodegradabilidad es del 97% o aún mayor, comparada con la del aceite vegetal puro. El fluido es estable a temperaturas elevadas debido a su alto punto de ignición (superior a los 300 °C), lo que aumenta el margen de seguridad. Hoy en día el nuevo fluido está comercialmente disponible y su impacto ambiental será considerable. Por primera vez en 100 años de uso de fluidos aislantes, se ha desarrollado uno verdaderamente biodegradable para ser usado en aparatos eléctricos, con el énfasis puesto en la seguridad ambiental.

## *Tarjeta Verde: Una Tecnología para Placas de Circuitos Eléctricos Impresos a Base de un Biopolímero Compatible con el Medio Ambiente*

Las placas de los circuitos eléctricos impresos (Printed Wiring Boards, PWBs) se han transformado en un elemento omnipresente en nuestra sociedad. Es posible encontrarlas en una gran cantidad de artículos de uso industrial y doméstico que incluye computadoras, videocasetas (Video Cassette Recorders, VCRs), cámaras y automóviles. La demanda de PWBs está aumentando rápidamente—desde 1983 el mercado mundial de PWBs se ha incrementado a un ritmo promedio de \$2 billones de dólares por año, hasta alcanzar el monto actual de más de \$25 billones de dólares. Las PWBs están constituidas por materiales compuestos (mixtos), generalmente formados por una resina epoxídica o novolac aplicada como recubrimiento sobre hojas de fibra de vidrio o papel, laminadas en pilas de capas múltiples que son intercaladas con hojas de cobre cortadas de acuerdo con un patrón determinado. Las PWBs proporcionan el sustrato para fijar físicamente los componentes eléctricos, así como para fijar los conductores de cobre que establecen las conexiones eléctricas entre ellos. Debido al uso de resinas termoestables reticuladas, de igual manera que los polímeros termoplásticos, los laminados forman materiales compuestos que no pueden reciclarse ni por fundición, ni por reconstitución.

La fabricación y la eliminación de más de 150 millones de metros cuadrados que se producen mundialmente cada año es un motivo de preocupación creciente. Las resinas empleadas actualmente para la fabricación de PWBs están completamente constituidas con materia prima derivada del petróleo. Los productos naturales, especialmente si se emplean con una constitución semejante a la que presentan en la naturaleza, generalmente consumen menos energía para su producción que los obtenidos del petróleo; de ello se deduce que el reemplazo parcial o total de la materia prima puede producir un apreciable ahorro de energía. La reducción de niveles de energía y de efluentes (sólidos, líquidos o gaseosos) es factible si se selecciona una materia prima apropiada de origen biológico.

Se investigó la producción de nuevas resinas que incorporan la madera o materias vegetales (disponibles en cantidades comerciales). Los objetivos técnicos de este programa culminaron con el desarrollo y la optimización del empleo de la lignina—un desecho de la fabricación del papel—para la fabricación de varios prototipos de PWB, con la finalidad de demostrar la viabilidad de su fabricación. Se formularon resinas que satisfacen las propiedades eléctricas y físicas primordiales de los circuitos eléctricos impresos, las cuales incluyeron del 50 al 60% de lignina por peso. Se demostró la utilidad de la lignina en resinas epoxídicas para una amplia variedad de aplicaciones, tanto comunes como avanzadas. La fabricación a escala piloto de resinas y laminados basadas en estas formulaciones se logró con un equipo estándar de fabricación, el cual empleó las técnicas y los compuestos químicos usuales en estos procesos. El muy bajo costo de la lignina como materia prima representa un incentivo financiero que hace aún mayor el atractivo de las formulaciones lignina/epoxídicas.

Se realizó un análisis de ciclo de vida que demostró los beneficios para el medio ambiente de un sistema de resinas utilizando lignina como precursor. Los beneficios incluyeron reducciones en el empleo de energía, en la producción de desechos sólidos, en las emisiones contaminantes de agua y aire, así como en la emisión de gases del efecto de invernadero, como son el CO<sub>2</sub>, el metano y los óxidos de nitrógeno. Debido a su menor demanda energética en la producción de materias primas, el ahorro de combustibles en la producción de resina a base de lignina puede llegar hasta un 40% si se le compara con la producción de su contraparte epoxídica. Las resinas de lignina pueden ser moldeadas a partir de disolventes como la cetona/propilenglicol o la cetona/acetato éter metílico de propilenglicol, lo que reduce el uso



de la metiletilcetona (un compuesto químico incluido en la ley SARA—Superfund Amendments and Reauthorization Act—cuyo uso está estrictamente reglamentado) y de la acetona en la fabricación de PWB. También se reducen los problemas derivados de la eliminación de desechos, ya que la incineración produce menor cantidad de gases del efecto de invernadero y las placas enviadas a rellenos sanitarios podrían ser más fácilmente degradadas, pues hongos presentes en estos ambientes pueden degradar la lignina.

### *Gases del Efecto de Invernadero: Del Residuo al Producto*

La producción mundial de ácido adípico es cercana a los 5 billones de libras por año. En los Estados Unidos se producen alrededor de 3 billones de libras de ácido adípico cada año. El ácido adípico se emplea en la fabricación de una gran cantidad de productos para el consumo doméstico, incluyendo al nilón (nylon) para alfombras, vestimentas y telas industriales, así como también a los uretanos, los plastificadores y los aditivos para alimentos. Prácticamente todo el ácido adípico se fabrica mediante un proceso de tres etapas que se inicia con el benceno: 1) se hidrogena el benceno a ciclohexano, 2) se oxida el ciclohexano con aire en una mezcla de ciclohexanol y ciclohexanona (aceite KA), y 3) se oxida el aceite KA en ácido adípico usando ácido nítrico como oxidante. La generación de residuos constituye un serio problema ambiental del proceso tradicional para la obtención del ácido adípico: los procesos de oxidación involucrados producen grandes cantidades de óxido nítrico y desechos orgánicos que necesitan ser manejados como desecho o destruidos. Por ejemplo, con la tecnología de uso común la producción de 5 billones de libras de ácido adípico también acarrea 2 billones de libras de óxido nítrico. El óxido nítrico es un gas que contribuye al efecto de invernadero, con un potencial de aumento de la temperatura mundial 300 veces superior al del dióxido de carbono y se sospecha que también es un destructor de la capa de ozono. Se estima que cada año, a nivel mundial, la producción de ácido adípico acarrea el 10% de la liberación de óxido nítrico a la atmósfera, a partir de fuentes relacionadas con la actividad humana.

Solutia creó un programa para buscar en todo el mundo nuevas tecnologías que reduzcan o supriman los desechos de sus actividades de fabricación. Como parte de tal programa, la compañía estableció una asociación con el Instituto de Catálisis Borskov de Novosibirsk, Siberia, para desarrollar una ruta alterna en la producción del ácido adípico. Este nuevo proceso recicla el óxido nítrico y lo utiliza como materia prima para la producción de fenol. Ello evita tanto la emisión directa del óxido nítrico a la atmósfera, como el uso de un costoso proceso—con consumo intensivo de energía—para reducir la producción de gases del efecto de invernadero. Simultáneamente, la nueva tecnología de Solutia posee un muy alto rendimiento en la producción del fenol. Además, dado que el costo de esta alternativa de producción de ácido adípico es menor a la del método tradicional, el procedimiento resulta económica y ecológicamente sustentable.

Una planta piloto para demostrar el proceso continuo comenzó a funcionar en el Centro Tecnológico de Pensacola de Solutia, en mayo de 1996. La unidad ha operado exitosamente desde su inauguración y proporciona los datos que ahora se utilizan en el diseño de una planta a escala comercial. La nueva planta utilizará todo el óxido nítrico de Solutia (250 millones de libras por año) para producir más de 300 millones de libras de fenol por año. Este proceso revolucionario representa el primer gran descubrimiento en la producción de fenol durante los últimos 50 años. Es un proceso nuevo y eficiente, ahorra energía, evita la emisión de cantidades masivas de gases del efecto de invernadero y, al mismo tiempo, reduce considerablemente la producción de desechos orgánicos.

**Solutia Inc.**

## *Hidrofluoroéteres (HFEs)—El Balance Correcto de Propiedades*

La investigación en hidrofluoroéteres comenzó en 1994 y el primer producto comercial se introdujo al mercado en 1996. El diseño de los hidrofluoroéteres proporciona un balance de propiedades que los hacen un excelente sustituto para los compuestos que destruyen al ozono.

Al principio de la década del 90, 3M formó un equipo de investigación con la finalidad de encontrar un sustituto para las sustancias destructoras del ozono (Ozone Depleting Substances, ODSs)—los CFCs y HCFCs. Además de abordar el problema de la destrucción del ozono, el equipo también estableció un criterio para considerar la aceptabilidad de las nuevas moléculas en función de su inflamabilidad, su toxicidad, su reactividad fotoquímica (el potencial para la formación de smog) y su potencial para el aumento de la temperatura mundial. El equipo de 3M investigó el comportamiento y los efectos sobre la salud y el medio ambiente de más de 100 compuestos que antecedieron a la invención de los HFEs. El reemplazo de los ODSs con HFEs hizo innecesario comprometer los estándares de calidad. Los HFEs no destruyen la capa de ozono, no contribuyen al aumento de smog fotoquímico, tienen muy baja toxicidad, no son inflamables y tienen muy bajo potencial para el aumento de la temperatura mundial.

El primer producto comercial del programa de los HFEs fue el HFE-7100. El HFE-7100 ( $C_4F_9OCH_3$ ) fue introducido en el mercado en 1996, seguido del HFE-7200 ( $C_4F_9OCH_2CH_3$ ) en 1997. Ambos compuestos fueron aprobados bajo el Programa de Estrategias Normativas para Alternativas Novedosas y Significativas (Significant New Alternatives Policy Program, SNAP) de la EPA para la limpieza de los disolventes y aplicaciones de aerosoles y transferencia de calor. El 25 de agosto de 1997 la EPA también declaró a estos materiales como exentos de VOC. Se investigaron cuidadosamente las toxicidades aguda y subcrónica del HFE-7100. El Comité sobre Límites de Exposición en el Medio Ambiente Laboral del American Industrial Hygiene Association evaluó estos datos y estableció una pauta de exposición de 750 ppm. La excepcional baja toxicidad de los HFEs los convierte en productos únicos en un mercado que, hasta la fecha y con las alternativas disponibles, se había visto obligado a conceder terreno en el tema de la toxicidad.

### **Mallinckrodt Baker, Inc.**

## *La Eliminación del Sulfuro de Hidrógeno de las Sustancias No Precipitadas por la Prueba de H<sub>2</sub>S*

Mallinckrodt Baker ha desarrollado un método que elimina el sulfuro de hidrógeno de las sustancias no precipitadas por la prueba de H<sub>2</sub>S. El método actualmente practicado usa el sulfuro de hidrógeno—un compuesto peligroso—toma alrededor de 5 horas para su ejecución y solo es preciso para resultados de combinaciones de álcalis. El nuevo método es más seguro (no emplea reactivos peligrosos), toma solo 30 minutos para su ejecución y es preciso en las determinaciones de elementos individuales.

### **Imation Corporation**

## *Placas Sin Procesos de Imation*

Aunque los principios de la litografía fueron aplicados por primera vez a la imprenta en 1796, las placas de aluminio revestidas con polímeros fotorreactivos no se produjeron a escala comercial sino hasta los años 50. Gracias a su mejor calidad y economía, la disponibilidad de estas placas presensibilizadas impulsó un rápido crecimiento en la industria de la impresión litográfica. Cuando una placa presensibilizada convencional es expuesta a la radiación ultravioleta a través de una película de máscara de contacto, entonces se inicia la formación

de áreas de imagen receptoras a la tinta. Estas placas requieren de un proceso de revelado húmedo para activar la superficie de impresión. En la mayor parte de los casos este proceso recurre a un dispositivo mecánico que también enjuaga las placas. Sin embargo, muchos reveladores contienen disolventes peligrosos. Las soluciones de revelado se saturan con los compuestos de revestimiento disueltos, los cuales incluyen toxinas y metales pesados. Se espera que el consumo total de placas para imprenta en los Estados Unidos alcance los 68 millones de yardas cuadradas para el año 2000. De acuerdo a una estimación basada en las tasas de consumo normales, el procesamiento húmedo de este volumen de placas consumirá más de un millón de galones de reveladores acuosos. El manejo de las soluciones agotadas que contienen sólidos del revestimiento se debe llevar a cabo en plantas especiales de desechos peligrosos, ubicadas en muchas regiones de los Estados Unidos. Asimismo, más de 1.2 billones de galones de agua de enjuague se sumarán a este flujo de desechos.

Al reconocer los costos ambientales del flujo total de desechos, Imation inició un programa intensivo de investigación y desarrollo para comercializar placas que no requirieran procesamiento químico alguno. Actualmente esta tecnología suministra placas de muy alta calidad que no necesitan procesamiento húmedo alguno, con la marca comercial "Imation™ No Process Plates." La demanda de esta tecnología está creciendo rápidamente en la industria de la imprenta. Las placas Imation™ sin proceso emplean polímeros fotoactivos que forman superficies para impresión sin necesidad de procesamiento químico húmedo. Cuando la placa es expuesta a la radiación ultravioleta a través de una cinta de enmascarado, se inicia la formación de áreas receptoras a la tinta para impresión; pero la activación tiene lugar en la prensa, bajo la acción de la emulsión tinta/agua que ocurre durante el proceso normal de enrollado de la placa. Esta tecnología tiene aplicación en toda la industria de la imprenta; desde la impresión litográfica comercial hasta la impresión de formularios; desde la preparación del material de embalajes hasta el de diarios. Los beneficios para el medio ambiente son realmente significativos y valiosos porque se previene la contaminación a partir de la reducción de la fuente de producción. Cuando se usan placas Imation™ sin proceso junto a películas para producción de imágenes Dry View™ de Imation se consiguen reducciones aún mayores en la producción de desechos. Si se emplearan 68 millones de yardas cuadradas de película Dry View™ para generar las imágenes en las placas, se podrían eliminar del flujo de desechos 2.4 millones de galones de reveladores de película, 4.1 millones de galones de fijadores y 675 millones de galones de agua de enjuague.

### *Aumento de la Utilización de Materias Primas en la Producción del Monómero Cloruro de Vinilo*

Los procesos comerciales de oxidación catalítica se han modificado para eliminar solventes orgánicos de desecho, contaminantes de aguas subterráneas, subproductos sintéticos, gases de incineradores y gases de escape de automotores. En la oxidación catalítica de hidrocarburos clorados a gran escala, el valor energético de estos materiales combustibles generalmente se recupera como vapor y el cloro como HCl y/o Cl<sub>2</sub>. En las patentes y en la literatura científica se describen varios sistemas. Los estudios de desactivación de catalizadores comerciales después de una larga exposición a corrientes de hidrocarburos clorados y no clorados encontraron que, en el uso prolongado, para poder mantener altos grados de conversión y reducir la desactivación del catalizador se necesita incrementar la temperatura de reacción. En la oxidación catalítica de compuestos clorados a escala comercial, las temperaturas máximas de operación están limitadas por el rango de temperaturas óptimas para el catalizador elegido, así como por la resistencia a la corrosión de los metales empleados en el equipo. Por ejemplo, a una temperatura de 530 °C o superior, ciertas aleaciones económicas de níquel y acero

**The Geon Company**

sufren una corrosión catastrófica en presencia de HCl. Si la temperatura de la reacción se incrementa hasta aproximarse a los 530 °C, la tasa de corrosión sufre un aumento. Por lo tanto, desde un punto de vista económico, sería deseable mantener por largos períodos de tiempo un muy alto grado de conversión, del 99% o más—pero sin inducir un incremento de la corrosión.

Geon desarrolló Catoxid™ como un proceso catalítico para recuperar el cloro y la energía de los compuestos orgánicos clorados. Normalmente, estos materiales son subproductos de la generación de compuestos químicos útiles, como es el caso del monómero cloruro de vinilo (Vinyl Chloride Monomer, VCM) u otros productos clorados o no clorados. La recuperación se logra mediante la reacción catalítica de los compuestos organoclorados y un gas que contiene oxígeno, como el aire, que al reaccionar en un reactor de cama fluidificada producen cloruro de hidrógeno (HCl), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua. No es necesario agregar combustible adicional para sustentar la reacción exotérmica y la energía química de los materiales se recupera en forma de vapor. El HCl producido se alimenta directamente a un reactor de oxiclорación, para luego ser recuperado como 1,2-dicloroetano (Dichloroethane, EDC). Después se convierte el EDC en VCM y, finalmente, en PVC. Por lo tanto, el proceso Catoxid™ reduce la cantidad de cloro requerida para producir una cantidad específica de VCM y también reduce los requisitos de combustible de la planta de producción. A diferencia de la incineración, que es la única otra opción aceptable, el proceso Catoxid™ no tiene ventilaciones atmosféricas. Además, como no se genera ácido clorhídrico acuoso (como suele suceder en los incineradores), no hay necesidad de emplear piedra caliza (cal) u otros materiales cáusticos para neutralizar el ácido. El proceso Catoxid™ se desarrolló para la industria de EDC/VCM/PVC y se puede aplicar directamente a muchas de las tecnologías de uso corriente en la producción de VCM.

## Allied Signal Inc.

### *Un Proceso Innovador para la Fabricación de Caprolactama a Partir de Alfombras de Nylon 6 Recicladas y de Otros Artículos de Nylon 6 de Desecho*

Un proceso de despolimerización y purificación desarrollado por y propiedad de Allied Signal y DSM Chemicals North America convierte una materia prima alternativa, las alfombras de nilón (nylon) 6 desechadas, en caprolactama de alta calidad, el monómero del nylon 6. En la actualidad, esta tecnología innovadora se comercializa a través de una empresa conjunta de capital (joint venture) conocida como Evergreen Nylon Recycling LLC, con sede en Augusta, Georgia.

Se estima que, en 1996, más de 1.3 billones de libras de alfombras desechadas de nylon 6 serán depositadas en los rellenos sanitarios o serán incineradas. Aproximadamente el 20% de esta descarga de desechos, 230 millones de libras por año de alfombras de desecho, serán recuperadas de estos rellenos sanitarios y serán convertidas en 100 millones de libras de caprolactama en la planta de Evergreen. La caprolactama recuperada será convertida en el polímero nylon 6 y será empleada para la confección de fibras de alfombras o resinas, lo que demuestra que se pueden regenerar productos de calidad, en forma ilimitada, a partir de los desechos de alfombras. Los beneficios adicionales para el medio ambiente comprenden una reducción de la dependencia del petróleo de alrededor de 700,000 barriles por año, menor consumo de energía -aproximadamente 4.49 Btus—y menor emisión de los gases causantes del aumento mundial de la temperatura (67% de CO<sub>2</sub> y 100% de N<sub>2</sub>O).

Para asegurar el suministro necesario de alfombras de desecho de nylon 6, Allied Signal creó la infraestructura necesaria para recolectar las alfombras desechadas de nylon 6, clasificarlas y entregarlas a su planta comercial en Augusta, Georgia. Junto con el

descubrimiento de la tecnología de despolimerización, esta infraestructura produjo un proceso de reciclado económico y benéfico para el medio ambiente. La disminución de los desechos en los rellenos sanitarios, el ahorro de energía y la reducción en la emisión de gases del efecto de invernadero son algunos ejemplos de dichos beneficios.

### *Estabilización Química In Situ del Chorreado Abrasivo con Desechos de Pintura a Base de Plomo*

Un equipo de investigadores del Laboratorio de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de los EEUU (U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories, USACERL) y el TDJ Group desarrollaron, probaron y patentaron una tecnología innovadora para remover pinturas con base de plomo, a un costo significativamente inferior al de los métodos tradicionales. Los abrasivos reformulados combinan un abrasivo tradicional con un material basado en el silicato de calcio (cuya marca comercial es Blastox™). Este último estabiliza químicamente el plomo en los desechos del chorreado abrasivo. El desecho estabilizado no presenta la toxicidad característica del plomo (Método 1311 de EPA, Procedimiento para la Toxicidad Característica de productos Lixiviados) y puede ser tratado como desecho inocuo a un costo muy inferior (hasta un 30% de ahorro sobre los costos totales del proyecto y un ahorro potencial de \$5 billones de dólares en todo el Departamento de Defensa de los EEUU). El método presenta la misma velocidad de trabajo que el soplete abrasivo tradicional y no requiere modificaciones en el equipo empleado. La clave del descubrimiento es la combinación de un material basado en el silicato de calcio (65% por peso de CaO y 22% por peso de SiO<sub>2</sub>) que estabiliza químicamente el plomo en los desechos. Estos desechos no se clasifican como peligrosos porque no lixivian plomo en concentraciones superiores a las 5 ppm.

### *ISOMET: El Desarrollo de un Disolvente Alternativo*

La Oficina de Grabado e Imprenta de los EEUU es el establecimiento de fabricación de documentos de valor más grande del mundo. Produce billetes y monedas, estampillas postales, estampillas para impuestos, certificados de naturalización, bonos de los EEUU y otros documentos de valor y materiales impresos del gobierno. Hasta 1991, la Oficina de Grabado e Imprenta empleó la mezcla disolvente Typewash para la limpieza de los sellos tipográficos y los números de serie de la COPE-Pack (una prensa de sobreimpresión), así como para la limpieza de las mangas de las prensas para estampillas postales. Typewash es una mezcla disolvente compuesta de cloruro de metileno (55%), tolueno (25%) y acetona (20%). Hoy en día, el empleo de Typewash no cumple con la Ley para el Medio Ambiente del Distrito de Columbia, ni con la Ley Federal sobre Toxicidad del Aire. Por ello se diseñó y desarrolló Isomet, un disolvente alternativo para reemplazar a Typewash. Isomet consta de una mezcla de hidrocarburos isoparafínicos (55%), con éter monometílico de propilenglicol (10%) y alcohol isopropílico (35%). Isomet es menos tóxico, menos contaminante y compatible con el medio ambiente. El desempeño de Isomet es aceptable en varios aspectos: 1) capacidad de limpieza; 2) velocidad de evaporación; 3) olor; 4) cumplimiento de las normas para el medio ambiente y de seguridad; 5) costo. Gracias a todo esto se logró que una descarga de disolvente de 7,500 galones por año sea compatible con el medio ambiente. Isomet se esta desempeñando de manera excelente en todas las prensas de estampillas postales y de sobreimpresión de la Oficina de Grabado e Impresión de los EEUU.

**Laboratorios de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de los EEUU**

**Oficina de Grabado e Imprenta de los EEUU**

## *Uso de Disolventes en la Remoción de Ceras de los Lubricantes Mediante un Proceso de Separación con Membranas*

Mobil Oil Corporation y W.R. Grace han desarrollado una nueva tecnología que reduce considerablemente el impacto ambiental de la refinación de los lubricantes mediante el uso de disolventes. Se trata de un proceso a base de membranas que posibilita una mayor selectividad del lubricante, una reducción de la producción de residuos, al mismo tiempo que una disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles y gases del efecto de invernadero.

Este empleo de membranas para facilitar la remoción de ceras de los lubricantes utilizando disolventes representa la primera mejora significativa y de enfoque ecológico de esta tecnología en los últimos 40 años. El proceso de remoción convencional de ceras de los lubricantes genera una mezcla de aceite lubricante y disolvente. El disolvente se separa de la mezcla por destilación para aislar el producto lubricante. Posteriormente, los disolventes se enfrían y se refrigeran hasta alcanzar la temperatura de procesamiento deseada para ser reciclados. Este proceso mejorado emplea una membrana de polímero desarrollada por y propiedad de W.R. Grace, capaz de separar hasta el 50% de los disolventes para remoción de ceras de la mezcla de aceite lubricante y disolvente. La membrana enrollada en espiral reduce apreciablemente el consumo energético, pues minimiza el uso de las operaciones de destilación, enfriado y refrigeración, todas ellas de alto consumo energético.

El resultado es que una planta comercial puede reducir el consumo de combustible en 36,000 barriles/año. Esto equivale a una reducción de alrededor de 20,000 toneladas/año en las emisiones de gases del efecto de invernadero, en cada planta equipada con esta tecnología. Asimismo, cada planta reducirá el empleo de agua para enfriado en alrededor de 4 millones de galones/día o, aproximadamente, 1.5 billones de galones/año. El empleo de membranas permite que se recicle una mayor cantidad de disolventes en la operación de remoción de ceras, lo que conduce a un mayor rendimiento de los lubricantes y a reducciones en la cantidad de subproductos indeseables generados por el proceso. A su vez, el mayor rendimiento del proceso reduce el volumen de petróleo crudo necesario para producir una cantidad determinada de lubricantes, en alrededor del 5%. Para una planta a escala mundial, esto equivale a un ahorro aproximado de 2 millones de barriles de petróleo crudo por año. Finalmente, los disolventes usados en la remoción de ceras son compuestos orgánicos volátiles, cuya fuga al medio ambiente puede disminuirse entre 50 y 200 toneladas/año por planta, dependiendo de la edad y las condiciones mecánicas del equipo para remoción de ceras. Esta es una consecuencia directa de la reducción del número de piezas de equipo necesarias para refinar un volumen determinado de petróleo.

Esta tecnología fue usada por primera vez a escala comercial en una refinería de Mobil, en Beaumont, Texas. En general, se puede adaptar fácilmente a plantas existentes, o se puede incorporar al diseño de nuevas plantas. Hoy en día ya se ofrecen licencias comerciales de esta tecnología.

## *Modificación Metabólica de Cultivos para la Producción Comercial de Plásticos Biodegradables*

Los polihidroxicanoatos (poly[hydroxyalkanoates], PHAs) son una clase de polímeros que numerosas especies de bacterias almacenan como reservas de carbono y energía. Estos polímeros tienen propiedades termoplásticas que los hacen atractivos como alternativas

biodegradables a los plásticos derivados de la petroquímica. Un polímero de esta clase, el poli( $\beta$ -hidroxibutirato-co- $\beta$ -hidroxivalerato) (poly[ $\beta$ -hydroxybutyrate-co- $\beta$ -hydroxyvalerate], PHBV) actualmente se produce por fermentación de la bacteria *Ralstonia eutropha*. Sin embargo, el proceso no es económicamente competitivo con la producción de polímeros derivados de la petroquímica. La producción de PHA en las plantas verdes ofrece la posibilidad de costos de producción muy inferiores, pero la obtención de dicho polímero con una composición adecuada de monómeros resulta problemática.

El objetivo de Monsanto es producir PHBV transfiriendo la ruta biosintética de la *R. eutropha* a las plantas y modificando el metabolismo intermedio de la planta para generar los precursores metabólicos apropiados para la síntesis del copolímero. La modificación metabólica de *Arabidopsis* y *Brassica* permitió reorientar las fuentes intracelulares de ácidos grasos de cadena corta y aminoácidos, lo que culminó con la producción de PHBV. Este proceso requiere la transformación de plantas con cuatro transgenes diferentes, así como una novedosa aplicación de una enzima vegetal endógena.

Esta tecnología brinda una ruta biosintética original para producir plásticos, la cual emplea el CO<sub>2</sub> atmosférico como fuente de carbono y la luz solar como fuente energética. El objetivo del proyecto es aplicar tecnología verde en todo el proceso, de principio a fin. La energía para la extracción y procesamiento del polímero será suministrada, en última instancia, por la biomasa residual del cultivo productor del polímero. Entre sus beneficios ambientales fundamentales se encuentran: la utilización del CO<sub>2</sub> atmosférico (en lugar del petróleo) como materia prima química; el consumo reducido de combustibles fósiles para la producción de polímeros y el consumo reducido de espacio en los rellenos sanitarios, dado que el polímero es biodegradable (se transforma en abono). Además, el sector agrícola se beneficiará con la producción de un cultivo nuevo o modificado.

Este proyecto es uno de los primeros y más complejos esfuerzos por diseñar plantas verdes con un metabolismo capaz de producir compuestos químicos novedosos. La agricultura ya proporciona numerosas materias primas para la industria química, tales como azúcares, aceites, fibras y varias moléculas pequeñas. El potencial de esta nueva tecnología radica en su capacidad para manipular el metabolismo de una planta y, en consecuencia, abrir nuevos caminos que llevan a nuevos productos. De manera particular, este proyecto alcanzó el objetivo de producir PHBV con plantas. De manera general, también abrió la posibilidad de usar plantas verdes como fábricas comerciales y ecológicamente sustentables de plásticos biodegradables.

### *Minimización de las Emisiones al Medio Ambiente Mediante el Empleo de Diferentes Disolventes en Procesos de Fabricación*

La selección del disolvente es un aspecto crucial en el desarrollo de un proceso químico. Dos efectos reconocidos de un disolvente son su influencia en la cinética de la reacción y su potencial para minimizar los efectos de reacciones indeseables, esto último mediante la dilución y la absorción del calor que su propia evaporación ocasiona.

Pruebas recientes con compuestos químicos energéticos han demostrado que los disolventes alteran apreciablemente la química y la cinética de las reacciones de descomposición indeseables. Eastman Kodak ha aplicado exitosamente estos conocimientos al factor de seguridad en el desarrollo de los procesos. Esto se consiguió mediante la evaluación sistemática de la capacidad del disolvente para minimizar los posibles impactos ambientales de eventuales perturbaciones accidentales de un proceso dado. Por ejemplo, el

**Eastman Kodak  
Company**

tamaño de la carga de un proceso intermitente (batch) debe restringirse, dada la severidad que tendría una reacción térmica galopante (autoaceleración incontrolada). La investigación con base en datos precisos de la química y la descomposición del disolvente fue usada para seleccionar disolventes como candidatos de reemplazo, de modo tal que minimizaran los riesgos ambientales. Un esfuerzo cooperativo entre ingenieros en seguridad y químicos de desarrollo produjo un proceso final que eliminó completamente la posibilidad de pérdida de contención por una reacción galopante. El resultado final de este trabajo fue la creación de una herramienta nueva, la cual está disponible para auxiliar a los químicos e ingenieros químicos en el desarrollo de procesos químicos intrínsecamente más seguros.

Históricamente, los cambios en un proceso para mitigar peligros potenciales se han producido mediante cambios drásticos en las condiciones del proceso, en la química del proceso o a través de modificaciones del equipo, todo lo cual ha requerido de cantidades considerables de capital y de recursos. Con este ejemplo, ha quedado demostrado que la aplicación de investigaciones recientes sobre el efecto de los disolventes en la cinética de la descomposición de compuestos químicos energéticos, puede orientarse a la disminución sustancial del potencial impacto ambiental de reacciones galopantes en equipos de escala industrial. La aplicación de esta tecnología a procesos químicos de producción que elaboran o usan materiales térmicamente inestables es muy promisoría.

### *El proceso NOxOUT® de Nalco Fuel Tech*

Nalco Fuel Tech desarrolla y comercializa tecnologías para el control de la contaminación del aire en todo el mundo. Su tecnología insignia, NOxOUT®, reduce las emisiones dañinas de óxido nítrico provenientes de las fuentes estacionarias de combustión y produce nitrógeno gaseoso y agua sin desechos sólidos. El óxido de nitrógeno (NOx), el contaminante objeto de la tecnología NOxOUT®, es un contaminante “primario” cuya reducción disminuye la lluvia ácida, las partículas de diámetro menor a 2.5 micrones y los gases del efecto de invernadero, además de mitigar la eutrofización por nitrógeno de cuencas hidrológicas ambientalmente sensibles. El NOx es también un precursor en la formación del ozono a nivel del terreno que, junto con el NOx, constituye uno de los seis parámetros de contaminación de la EPA. Así como muchos otros habitantes alrededor del mundo, más de 100 millones de ciudadanos de los EEUU viven en áreas que están clasificadas como “no aptas por el ozono” (los niveles del ozono en el aire exceden las 120 ppb o partes por billón). Los niveles altos de ozono están ligados a diversos problemas respiratorios, lo que condujo a la EPA a promulgar el nuevo Estándar Nacional de la Calidad Ambiental del Aire de 0.080 ppm por un período de 8 horas, con la finalidad de proteger la salud y el bienestar humanos. El proceso NOxOUT® satisface las normas ambientales vigentes usando una química menos tóxica, reduciendo o eliminando las emisiones tóxicas, convirtiendo los desechos en descargas más compatibles con el medio ambiente y reduciendo el consumo de energía. El proceso NOxOUT® proporciona una solución económica para acatar las estrictas reglamentaciones sobre la reducción de emisiones del NOx de fuentes de combustión. El NOxOUT® puede reducir estas emisiones de NOx en un 75%, en comparación con las reducciones de 20 a 50% que ofrecen otros tratamientos disponibles.

En la actualidad, el proceso NOxOUT® se usa a nivel comercial. Puede ser empleado en nuevas unidades de combustión para pequeñas plantas industriales o para grandes instalaciones de servicio, pero también puede ser adaptado a unidades de combustión preexistentes. Los beneficios que aporta al medio ambiente son: la reducción significativa del NOx; la supresión tanto de la generación como de la eliminación de subproductos; la supresión del uso de compuestos químicos tóxicos comprendidos en la ley SARA Title III (Superfund Amendments and Reauthorization Act) y un incremento de la eficiencia energética.



## *Tecnología LAZON de Nalco*

La industria del papel de los EEUU sufre más de \$1 billón de dólares en pérdidas anuales debido a problemas de contaminación biológica. La tecnología LAZON de Nalco le brinda a esta industria un nuevo enfoque integral para el control de microorganismos tal que, en comparación con las técnicas tradicionales, posibilita un impacto ambiental considerablemente menor. Esta tecnología es un conjunto único de innovaciones que comprende una combinación sinérgica de biocidas, dos nuevas tecnologías de control y un equipo de alimentación especializado. El componente primario de la tecnología LAZON es químico: Una combinación del ácido peracético oxidante no halogenado con un agente orgánico estándar de control biológico. En forma conjunta, estos compuestos proporcionan una actividad antimicrobiana mucho mayor que la esperada a partir de los componentes individuales. El control microbiano mejorado se demuestra con el control óptico de descomposición BLOWATCH™ de Nalco. El sistema BLOWATCH TRA-CIDE® de Nalco mide inmediatamente la toxicidad del biocida y el ATP microbiano, in situ, lo que garantiza un nulo o mínimo impacto ambiental. Finalmente, un sistema de alimentación de compuestos químicos de diseño especial y el recipiente retornable PORTA-FEED® de Nalco completan el programa. Esta red concatenada de tecnologías novedosas disminuye el empleo de biocidas, mide el desempeño del producto y su toxicidad residual, además de minimizar las oportunidades de escapes accidentales del biocida durante su transporte o durante su aplicación. Esta tecnología de Nalco representa un programa integral que mejora la seguridad, incrementa la conservación de la energía, reduce los costos operativos y minimiza las emisiones en la fuente de producción.

## *Tecnología para la Remoción de Metales Pesados NALMET® de Nalco*

Los estrictos límites para efluentes metálicos del Sistema Nacional de Eliminación del Desecho de Contaminantes (National Pollutant Discharge Elimination System, NPDES) afectan tanto a la industria metalúrgica como a la no metalúrgica. Los límites en partes por billón (ppb) de la remoción de metales pesados no se pueden alcanzar con procedimientos tradicionales de precipitación de metales. Históricamente, los procesos con membranas—el intercambio iónico, la ultrafiltración y la ósmosis inversa—suelen ser recomendados para la remoción de metales. Sin embargo, estos métodos imponen considerables inversiones de capital y aún así, es necesario el pretratamiento de las corrientes de desechos. Cualquier proceso químico de remoción que reduzca los metales a niveles compatibles con la NPDES representa una tecnología innovadora para el tratamiento de los desechos industriales. Nalco desarrolló NALMET®, un programa patentado para la remoción de metales. Esta tecnología de baja toxicidad consiste de un polímero líquido que contiene un grupo funcional quelante que causa la precipitación de los metales y, al mismo tiempo, aclara la corriente de desechos. Todas estas funciones las realiza un mismo producto. NALMET® también incluye un sistema automático de alimentación de compuestos químicos equipado con una tecnología patentada de sensores que garantiza un tratamiento uniforme. El programa permite que los barros generados por los usuarios de NALMET® sean recolectados y procesados por nuestra compañía asociada. Los beneficios del programa NALMET® comprenden la reducción en el volumen de barros de un 25 a 90%, la disminución de las sobredosis del compuesto, la reducción de la liberación al medio ambiente de los compuestos químicos del tratamiento, la menor toxicidad del tratamiento químico empleado y el cumplimiento consistente de las normas de descargas en ppb. Nuestros clientes logran prevenir la contaminación ambiental con el tratamiento integral e innovador de Nalco y, junto con una reducción de la toxicidad

**Nalco Chemical  
Company**

**Nalco Chemical  
Company**

ambiental, se consigue aplicar la gerencia ambiental que abarca todo el proceso, de principio a fin.

### *PORTA-FEED® de Nalco*

Durante la década de los 80, la eliminación de los residuos químicos y sus recipientes representó un riesgo potencial para la salud humana, para el medio ambiente de los usuarios de productos químicos, así como para la sociedad en su conjunto. En 1985, Nalco desarrolló PORTA-FEED®, un sistema avanzado de manejo de compuestos químicos para la industria química de todo el mundo. Es la flota privada de contenedores retornables más voluminosa del mundo; representa un capital de \$240 millones de dólares. Esta flota de 105,000 unidades es propiedad de Nalco, quien se hace cargo de controlarlas, mantenerlas y limpiarlas por medio de un programa de manejo de riesgos que abarca todo el proceso, de principio a fin. Tal programa esta compuesto por las unidades, un sistema rastreador computarizado, un sistema de distribución con cero defectos y un programa sistemático de mantenimiento y limpieza. Este programa de prevención de contaminación ha evitado el manejo y desechado de más de 3 millones de tambores y 30 millones de libras de residuos químicos. En 1985, el 33% de nuestras ventas anuales (\$659 millones) eran enviadas en 500,000 tambores no retornables. En el año 2000, esperamos suprimir los problemas de desechado de 10 millones de tambores y 100 millones de libras de desechos químicos alrededor del mundo. Los beneficios de este sistema consisten en la reducción de los riesgos para el ser humano y el medio ambiente, durante el transporte y la eliminación de compuestos químicos, la reducción de los inventarios de compuestos químicos, así como el uso de recursos renovables.

### *Tecnología TRASAR® de Nalco*

La Cia. Nalco influye en la forma en que el mundo administra el agua: Desde la marcación, hasta el rastreo y el control del desempeño. Usando los sistemas de control de aguas de Nalco, nuestros clientes tienen a su disposición herramientas para la detección y el control de derrames de productos químicos, la reducción de la contaminación en sus fuentes de producción, la conservación de la energía y la prevención de derrames accidentales al medio ambiente. El primer paso consiste en agregar un trazador fluorescente inerte a los productos con que se trata el agua. Este trazador permite una aplicación de compuestos químicos controlada al instante y de manera automática. Este proceso dio origen a reducciones en el empleo de estos productos que van del 20 al 30%. El segundo paso consiste en la detección directa y automática del compuesto químico marcado con el trazador fluorescente. La presencia del producto químico puede ser detectada incluso en sistemas en los cuales previamente la medición de muy bajos niveles no era posible, permitiendo así correlacionar las variaciones en el tratamiento con las de la operación del sistema de agua. El paso final rastrea tanto el desempeño del producto resultante, como la protección contra la corrosión o la eliminación de la espuma, lo que permite un mayor refinamiento en la administración del compuesto químico. Estas tecnologías proporcionan extensos beneficios: un menor y más eficiente uso del agua industrial; una disminución del uso de compuestos químicos; un ahorro de energía; un mejor manejo del riesgo en el control del destino de los aditivos químicos, en la detección de tratamientos industriales y con biocidas; una minimización de emisiones al medio ambiente. Estas aplicaciones brindan un sistema completo para el manejo del agua, de principio a fin del proceso.

## *Un Nuevo Inhibidor de la Corrosión para Sistemas de Refrigeración Compatible con el Medio Ambiente*

El mercado de los EEUU para inhibidores de la corrosión en sistemas industriales de tratamiento de agua representa un volumen de 50 millones de libras al año que, además, crece a un ritmo del 5 a 7% anual. Hay más de 500,000 usuarios en esta categoría industrial. La exposición a los inhibidores de la corrosión es un problema preocupante. Los inhibidores de la corrosión convencionales empleados en los sistemas de refrigeración industriales, o son peligrosos para el medio ambiente, o tienen otras desventajas, como su inestabilidad en presencia de biocidas oxidantes, con la consecuente limitación de su aplicabilidad. Un nuevo inhibidor de la corrosión que es completamente orgánico ha sido descubierto y patentado. Se trata de Bricorr® 288 y esta compuesto de una mezcla de fosfonocarboxilatos. Bricorr® 288 es un inhibidor de la corrosión muy efectivo en una gran variedad de sistemas de refrigeración industrial. Dado que Bricorr® 288 es compatible con el medio ambiente, en muchas situaciones, el agua tratada puede ser descargada directamente a las vías naturales, sin efectos adversos. En muchos casos, el nivel de tratamiento recomendado corresponde, cuando menos, a un orden de magnitud por debajo del que sería tóxico para los peces. Además, Bricorr® 288 es muy soluble en agua y, por ende, no se acumula en los sistemas biológicos. Esto acarrea una reducción pronunciada de los riesgos de daño a las formas superiores de vida. Además, la fabricación de Bricorr® 288 se realiza mediante una novedosa y patentada ruta acuosa que no emplea solventes tóxicos. El proceso es intrínsecamente “limpio” en tanto que no produce descargas ni al agua ni al aire, como tampoco genera subproductos. Bricorr® 288 también tiene excelentes características de manejo debido a su baja toxicidad para los mamíferos. Esto ayuda a mejorar la seguridad de su manejo, particularmente cuando es usado por operadores con poca experiencia en la manipulación de compuestos químicos industriales.

## *Nuevos Inhibidores Orgánicos de la Corrosión Ayudan a Reemplazar a los Metales Pesados Tóxicos y a Reducir las Emisiones de Disolventes*

La industria de los revestimientos en los Estados Unidos ha tenido que enfocar sus esfuerzos hacia el desarrollo de productos que cumplan con el conjunto de reglamentos federales, estatales y locales. Estos reglamentos se multiplican constantemente con la intención de reducir o eliminar las sustancias que son una amenaza, ya sea para la salud y la seguridad públicas o, en un sentido más amplio, para la seguridad del medio ambiente. Dado que la composición de los pigmentos anticorrosivos estándares se basa en la presencia de metales pesados—tales como el plomo, cromo, zinc, estroncio y bario—la familia Irgacor de inhibidores orgánicos de la corrosión fue especialmente diseñada y desarrollada para reemplazarlos. Los metales pesados están clasificados como dañinos para el género humano y/o el medio ambiente. Además de dicha toxicidad, los pigmentos anticorrosivos con sustrato de metales pesados no son particularmente efectivos en revestimientos a base de agua y con bajo contenido volátil (Volatile Organic Content, VOC), debido a problemas de incompatibilidad.

Los inhibidores orgánicos de corrosión Irgacor no contienen metales pesados, son sustitutos eficaces de los productos a base de metales pesados y pueden producir revestimientos comercialmente viables, en formulaciones acuosas y con base en disolventes con una alta concentración de sólidos. Si estos inhibidores orgánicos de la corrosión llegasen a reemplazar por completo a los inhibidores convencionales, entonces la reducción anual de

la fuente contaminante podría ser de aproximadamente 11.0 millones de libras (4.2, 3.9 y 3.0 millones de libras de materiales con base en cromo, en zinc/no cromo y en boratos de bario y silicatos, respectivamente). Los inhibidores de la corrosión Irgacor se emplean usualmente a niveles de 0.5 a 4% (sobre una base de sólidos totales), a diferencia del 10 a 20% o aún más de los pigmentos anticorrosivos. Por lo tanto, el volumen de Irgacor necesario para reemplazar 11.0 millones de libras de inhibidores convencionales es tan solo 2.0 millones de libras. Además, si Irgacor pudiese lograr un 20% de reemplazo adicional de los revestimientos a base de solvente con contrapartes acuosas en los ámbitos del mantenimiento, del acabado automotriz y del mercado marino, entonces el volumen anual de VOCs liberados a la atmósfera se reduciría en un monto de 6.7 millones de libras (de 8.0 a 1.3 millones de libras). Los inhibidores orgánicos de la corrosión Irgacor proporcionan protección anticorrosiva tanto a largo plazo como de manera instantánea. Estos materiales brindan a la industria de los revestimientos opciones eficaces para avanzar en el desarrollo de los revestimientos con base acuosa, así como para reemplazar a los productos con base en solvente que contienen mayor cantidad de VOCs.

### *Una Nueva Tecnología para Transformar Desechos en Productos Intermedios Valiosos*

Los silanos clorometílicos son productos intermedios en el mercado creciente de la industria de la silicona. Se producen mediante la reacción del silicio atómico con el cloruro de metilo en un reactor de cama fluidificada. Al igual que en la mayoría de los procesos químicos, la conversión de reactivos en productos no es 100% eficiente. Si bien es cierto que el porcentaje de desechos de este proceso es relativamente pequeño, la importancia de los flujos de desecho aumenta a medida que el volumen de producción de esta industria continúa creciendo.

Una fracción considerable de los desechos que se producen en la reacción química de este “proceso directo” son disilanos clorometílicos de alto punto de ebullición. Tradicionalmente, estos disilanos se han desechado a través de un enfriamiento brusco que los transforma en material no contaminante de rellenos sanitarios. Con el objeto de reducir la producción de desechos y de recuperar el valor del insumo de materias primas, Dow Corning desarrolló un proceso que posibilita la conversión de estos materiales en monosilanos valiosos, a través de la reacción de los disilanos clorometílicos con hidrógeno gaseoso para formar silanos hidrocloremitílicos. De esta manera, no sólo se reduce la generación de los desechos relacionados con la producción de silanos clorados, sino que también se recupera el valor de las materias primas en forma de productos intermedios, los cuales son importantes para la creación de una amplia variedad de productos de siloxano.

Una vez que esta nueva tecnología se ponga en ejecución en las plantas básicas de silicona de Dow Corning, el monto total del ahorro equivaldrá a \$3 millones de dólares al año. Es de esperarse que esta cantidad aumente de manera considerable a medida que crezca la capacidad de las plantas.

### *Una Nueva Generación de Fluidos Resistentes al Fuego*

Los ésteres de fosfato triarílico integran una categoría de productos industriales de suma importancia en las aplicaciones de fluidos resistentes al fuego y de lubricación. Una clase más particular dentro de esta categoría, los ésteres de fosfato t-butilfenílico (tertiary butylphenyl phosphate, TBPP), acaparan una fracción cada vez mayor de estos mercados gracias a su mayor estabilidad y menor toxicidad, en comparación con los ésteres de fosfatos derivados del

cresol y xilenol de origen natural. Los métodos actuales de fabricación producen ésteres TBPP con 10 a 45% de contenido de fosfato trifenílico, el cual es un compuesto menos estable y un conocido inhibidor de las enzimas esterazas. El fosfato trifenílico también se ha identificado como causante de la degradación de la estabilidad hidrolítica, la cual es crucial para la utilidad de los fluidos hidráulicos y los de lubricación.

Se desarrollaron dos rutas sintéticas para la producción de ésteres TBPP con altos rendimientos y un contenido menor del 5% de fosfato trifenílico. Ambos procesos utilizan tecnología de producción y materias primas comercialmente disponibles. Dichos procesos no afectan de manera desfavorable las emisiones ambientales, ni la producción de efluentes. Estos nuevos ésteres TBPP se podrán producir de manera económicamente viable, hecho que resulta aún más relevante dadas las ventajas que su desempeño brinda al mercado.

Esta nueva generación de ésteres TBPP posee mayor estabilidad y es menos peligrosa en muchas de sus aplicaciones, de tal manera que atenúa la problemática ambiental relacionada con los factores de reciclado y manejo de desechos. Simultáneamente, gracias a su reducida capacidad de inhibición de esterazas, el peligro potencial de la exposición de los trabajadores a los ésteres TBPP resulta menor. Se ha iniciado el trámite de la patente de los ésteres TBPP y de sus métodos de producción. Existen proyectos para poner en marcha la producción de estos materiales en 1999.

### *Un Proceso Nuevo y Eficiente para la Producción de Cytovene® , un Poderoso Ggente Antiviral*

Uno de los aspectos más problemáticos en la operación de empresas de la industria farmacéutica es la compatibilidad ambiental de los procesos de elaboración de productos farmacéuticos a gran escala; tanto por su diseño, como por su desarrollo, así como por su puesta en ejecución. Desde el descubrimiento de Cytovene® en 1980, se han hecho esfuerzos considerables para desarrollar nuevos y más eficientes procesos de producción. Cytovene® es un agente antiviral poderoso para el tratamiento de las infecciones de cytomegalovirus (CMV) retinitis en pacientes inmunocomprometidos. Entre la población con alto riesgo de contraer el CMV se incluyen los pacientes con SIDA y los receptores de trasplantes de órganos. A principio de los años 90s, Roche Colorado Corporation desarrolló el primer proceso económicamente viable para la producción de Cytovene®. En 1993, en el Centro de Tecnología Boulder de la Cia. Roche, los químicos desarrollaron un original proceso comercial para la producción de Cytovene® que, en aquel entonces, tenía una demanda comercial de aproximadamente 50 toneladas métricas por año.

El proceso triéster de guanina (Guanine TriEster Process, GTE)—registrado en la FDA como el proceso vigente para el suministro mundial de Cytovene®—logró varios objetivos ambientales y económicos a través de soluciones tecnológicas para la prevención de la contaminación. Entre estos logros se encuentran: la reducción del número de etapas de procesamiento químico y aislamiento, de seis a dos; la reducción del número de reactivos y compuestos intermedios, de 22 a 11; la recuperación y reutilización de tres de cada cuatro reactivos de importancia; la reducción en el número y cantidad de productos secundarios y residuos producidos; la duplicación de la capacidad de procesamiento; y el aumento simultáneo del rendimiento productivo en más de un 25%.

El nuevo proceso GTE para la producción comercial de Cytovene® constituye una muestra clara de la aplicación de los principios generales de química verde. En general, el desarrollo de opciones de síntesis compatibles con el medio ambiente involucra el uso de sustancias (materias primas, reactivos y disolventes) no nocivas y atóxicas, la eliminación de residuos en la fuente de producción y la eliminación de la generación de productos

**Roche Colorado  
Corporation**

secundarios y residuos tóxicos. En particular, este proceso deja firmemente establecido un método tecnológico nuevo y original para la producción eficiente de Cytovene® y de otros agentes antivirales poderosos, todos ellos necesarios para el tratamiento del CMV retinitis y de otras enfermedades relacionadas con el SIDA.

### *Proyecto de Coxidantes de Lavado de Gases*

La NASA, en combinación con I-NET, el contratista anterior de conformidad con el contrato titulado "Engineering Support Contract", y su contratista actual, Dynacs Engineering Co. Inc., ha desarrollado un proceso innovador que transforma el residuo oxidante hipergólico en un fertilizante usado por el Centro Espacial Kennedy (Kennedy Space Center, KSC). El laboratorio de Detección de Vapores Tóxicos (The Toxic Vapor Detection, TVD) del KSC ha demostrado que es posible aumentar la eficiencia de las columnas oxidantes de lavado, evitar la formación de un flujo tóxico de desecho, disminuir el costo de operación del proceso y reducir el monto de compras de fertilizante.

Los materiales propulsores hipergólicos se usan en naves espaciales como el transbordador espacial, los vehículos Titán IV, los Delta II, así como otros vehículos que son lanzados desde el KSC y la estación Aérea de Cabo Cañaveral (Cape Canaveral Air Station, CCAS). Las operaciones de abastecimiento de combustible y de retiro de servicio de naves espaciales comprenden el grueso de las operaciones en las que se liberan emisiones de NOx al medio ambiente. Los principales materiales propulsores en cuestión son la hidracina monoetífica, el tetróxido de nitrógeno y la hidracina. El licor de desecho generado por las columnas oxidantes de lavado (aproximadamente 311,000 libras por año) es, por su cuantía, el segundo flujo de desecho en KSC. El costo del manejo de este desecho es de aproximadamente \$0.227 dólares por libra o \$70,600 por año.

Por medio del nuevo proceso, el flujo de desecho de la columna de lavado en KSC y CCAS será convertido en fertilizante de alto desempeño y será utilizado en plantíos de árboles cítricos. El proceso hace reaccionar el tetróxido de nitrógeno con 1% de peróxido de hidrógeno e hidróxido de potasio para producir nitrato de potasio, un ingrediente principal de los fertilizantes comerciales. Este proceso evita la producción de desechos peligrosos que ocurre cuando se usa hidróxido de sodio como el licor de la columna de lavado. Además, en comparación con el uso del hidróxido de sodio, el nuevo licor de la columna de lavado posee mayor eficiencia en la captación de tetróxido de nitrógeno. Con fines comparativos, se usaron ambos licores de lavado bajo las mismas condiciones de prueba. Con el nuevo licor, la eficiencia del sistema aumentó de 72.6 a 98.7% y de 98.3 a 99.99%. Por consiguiente, al emplear el nuevo licor las emisiones de la columna de lavado fueron de 10 a 200 veces menores que cuando se utilizó el licor de hidróxido de sodio. Esta modificación química introdujo un nuevo licor de columna de lavado y evitó la formación del segundo flujo peligroso de desecho en KSC. Además se autorizó su uso como fertilizante de céspedes y plantíos de árboles cítricos en KSC. El uso de este nuevo sistema produjo un ahorro aproximado de \$80,000 por año.

### *Oxigenación de Hidrocarburos con Fotocatálisis: Una Alternativa Verde*

La industria química constituye una parte importante de la economía doméstica de los Estados Unidos, ya que ha generado un monto superior a los \$250 billones de dólares por concepto de ventas y ha producido un superávit mercantil superior a los \$15 billones de dólares en cada uno de los últimos cinco años. Pero esta industria también es una fuente importante de desechos industriales y es la principal generadora de desechos peligrosos en los Estados Unidos. En los Estados Unidos, el costo anual del manejo, el tratamiento y

eliminación de estos desechos ha alcanzado el equivalente al 2.2% del producto interno bruto y continúa creciendo.

Anualmente, la industria de la fabricación química produce más de 1.5 billones de toneladas de materiales de desecho peligroso y 9 billones de toneladas de materiales de desecho no peligroso. La actividad química industrial es responsable de cerca de la mitad de las liberaciones y descargas de sustancias químicas declaradas en el Inventario de Descargas Tóxicas (Toxics Release Inventory). Asimismo, es responsable del 80 al 90% de la producción de desechos peligrosos que se declaran en conformidad con la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (Resource Conservation and Recovery Act). Las sustancias químicas orgánicas representan la fuente más importante de descargas tóxicas al medio ambiente. Muchas de estas descargas se pueden minimizar mejorando las prácticas convencionales de manejo y almacenamiento de materiales, así como mejorando las medidas de prevención de la contaminación. Entre estos métodos se encuentran un mejor aprovechamiento y administración de materiales y energía, una mejora en el control de procesos, una optimización de las condiciones de los procesos, así como el reciclado y la reutilización de desechos y productos secundarios. Sin embargo, se pueden lograr métodos más limpios de producción mediante la adopción de métodos de “síntesis verde.”

En años recientes, se ha dedicado mucho trabajo a la utilización de fotocatalizadores semiconductores en una variedad de aplicaciones. Se ha logrado la síntesis exitosa de compuestos oxigenados de alto valor partiendo de hidrocarburos lineales y cíclicos, a través de una oxidación fotocatalítica de baja temperatura que usa el material semiconductor dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ). Se logró la oxidación parcial de una serie de hidrocarburos en reactores de fase acuosa y de fase gas, utilizando la luz ultravioleta y el dióxido de titanio bajo condiciones de reacción moderadas. Las conversiones y selectividades que se obtuvieron en la oxidación parcial de los hidrocarburos son equiparables a las que se obtienen usando el método convencional.

Usando un reactor continuo a 160 °C e irradiado con 27 mW/cm<sup>2</sup>, la oxidación fotocatalítica en fase de vapor del tolueno con aire dio por resultado aldehído benzoico y ácido benzoico con 12% de conversión por paso y 95% de selectividad de aldehído benzoico. La oxidación del ciclohexano en fase gas alcanzó hasta el 6% de conversión por paso. Los principales productos que se obtuvieron fueron el ciclohexanol y la ciclohexanona, sin que se detectara formación alguna de  $\text{CO}_2$ . Los reactores fotocatalíticos en fase de gas eliminaron la etapa de separación—que involucra mezclas de disolventes líquidos y lodos catalíticos—y se minimizó la adsorción de productos en el catalizador.

Estudios preliminares de los análisis de ciclo de vida han demostrado que esta tecnología tiene el potencial para reducir la contaminación del agua y evitar el uso de catalizadores metálicos y disolventes, ambos tóxicos. La aplicación de la catálisis fotoinducida amplía las posibilidades de uso del oxígeno molecular en reacciones de oxidación parcial, las cuales ahora se llevan a cabo con oxidantes contaminantes y a un costo mucho más elevado. Esta tecnología también ofrece el potencial de aplicación en la química de fotoinducción con luz visible para síntesis comerciales importantes. Aún más, el alto grado de selectividad y las condiciones moderadas de reacción logrados con las rutas fotoquímicas representan un atractivo especial en la elaboración de productos de especialidad.

## *Programa de Cómputo PARIS II para el Diseño de Disolventes*

Existe una gran necesidad de reemplazar los disolventes industriales, pues su uso tiene consecuencias ambientales nocivas como los problemas de salud para los trabajadores, el adelgazamiento de la capa de ozono y la toxicidad ambiental. Con el afán de abocarse a este problema, se estructuró una investigación para crear un programa de cómputo para el diseño y reemplazo de disolventes industriales, PARIS II (Program for Assisting the Replacement of Industrial Solvents, versión 2). En PARIS II, el diseño de disolventes se efectúa correlacionando las propiedades físicas y el comportamiento de los disolventes indeseables con las propiedades y el comportamiento correspondientes a posibles sustitutos de mayor compatibilidad ambiental. La teoría asumida en PARIS II se sustenta en dos observaciones: Las expresiones matemáticas que controlan el comportamiento de los disolventes poseen carácter universal y la identidad del solvente se representa por medio de una serie de coeficientes (v.gr. viscosidad, difusividad, actividad química). Por lo tanto, es posible seleccionar disolventes de reemplazo totalmente nuevos a través de un esquema que coteja la evaluación de sus coeficientes con los del solvente inicial. El disolvente que resulta del análisis imitará el comportamiento del disolvente inicial, sin importar cuales hayan sido las aplicaciones originales. PARIS II incorpora un algoritmo sofisticado que usa la predicción de las propiedades y los cálculos de equilibrio de fases para diseñar mezclas que posean propiedades y comportamiento específicos. Entre estas se incluyen propiedades generales, propiedades dinámicas y de equilibrio, requisitos ambientales (v.gr. un índice de VOCs y un índice ambiental), así como requisitos de desempeño y seguridad. El resultado que se obtiene es un programa de computación para diseño de uso general, potente y confiable.

Cabe hacer notar que PARIS II tiene la capacidad no sólo de diseñar solventes que imiten el comportamiento de otro disolvente, sino que también puede diseñar disolventes que posean propiedades técnicas y ambientales superiores a los disolventes existentes. Lo anterior es el resultado de un algoritmo que permite al usuario, por ejemplo, solicitar un disolvente con viscosidad 10% menor, densidad 20% mayor, o presión de vapor 50% menor. Esto resulta extremadamente útil cuando el disolvente de reemplazo es una mezcla, pues posibilita la adición de diferentes componentes mientras que el programa se encarga de ajustar su composición. Dado que PARIS II contiene un algoritmo que busca disolventes con índices ambientales tan cercanos a cero como sea posible, el mejoramiento del desempeño ambiental del nuevo disolvente se convierte en un proceso automatizado. No obstante, elevar el desempeño técnico de dicho disolvente es responsabilidad del usuario.

## *Tecnología para Reemplazar al PVC*

Los ecologistas aducen que dos componentes de los productos de PVC, los ftalatos y el cloro, se encuentran entre las sustancias químicas sintéticas que interfieren en los sistemas hormonales de animales y seres humanos. Además, la producción o combustión del PVC origina productos secundarios que contienen dioxinas. Muchos países, entre los cuales se encuentran Alemania, Australia, Dinamarca y Suecia, están imponiendo medidas para restringir el uso y la fabricación del PVC. Hoy en día existen nuevas clases de catalizadores de polímeros cuya intervención en el proceso de polimerización posibilita la elaboración de polímeros con características muy singulares. Tales características han hecho posible que, por primera vez, las poliolefinas compitan en mercados que les estaban vedados. A estos catalizadores se les conoce como metallocenos (metallocenes) y, en esencia, permiten un diseño ad hoc de las propiedades del polímero durante el proceso de polimerización.

En el programa de reemplazo de materiales de vinilo para pisos, el problema radicaba en



desarrollar un sistema que combinara las excelentes propiedades físicas de las poliolefinas de metaloceno con las cualidades únicas de procesamiento del PVC. Por ejemplo, se desarrolló y patentó un material sin cloro para cubrir pisos y se demostró que, con una poliolefina de metaloceno producida con monómeros no volátiles cuidadosamente seleccionados, se puede superar el proceso convencional de procesado de polímero fundido usando equipo convencional de fabricación de PVC. A diferencia del plastisol, en el cual “el curado” se debe a la solubilización de los plastificantes, el producto poliolefínico final no contiene líquido disuelto y da por resultado un sistema de polímero multifásico. Este mismo sistema se puede utilizar en una amplia gama de aplicaciones y procesos de fabricación, brindando mejores características ambientales, aunadas a un mejor desempeño.

La importancia del uso de poliolefinas de metaloceno radica en dos factores sobresalientes. El primero y más obvio es la superioridad intrínseca de sus propiedades físicas, en comparación con las de las poliolefinas convencionales. El segundo está vinculado directamente a su estructura química. Este proceso ingenioso de polimerización hace que cada cadena del polímero posea terminaciones de dobles enlaces. El doble enlace puede participar en la polimerización a radical libre de los monómeros líquidos (metacrilato y acrilato). De este modo, los copolímeros resultantes acaban teniendo segmentos olefínicos y acrílicos. Estos polímeros híbridos actúan como elementos de compatibilización entre las dos fases poliméricas. Sin duda, dicha compatibilización será muy relevante para las funciones características de diversas aplicaciones.

### *Reducción de Emisiones de VOCs Mediante la Eliminación de las Operaciones de Pintado y Etiquetado, a Través del uso de un Nuevo Sistema Láser de Marcado a Color para Componentes de Plástico*

El decorado, marcado o codificación de las botellas de plástico puede ser una tarea problemática. Muchos plásticos requieren de tratamientos previos de superficie para que se les adhiera la pintura. En ciertas situaciones, las marcas impresas carecen de durabilidad y pueden llegar a requerir de un revestimiento protector. Las etiquetas de auto adhesión son otra opción pero, además de altos porcentajes de desecho, presentan problemas similares de durabilidad. M.A. Hanna Color ha desarrollado una nueva tecnología de rayos láser para marcar componentes de plástico con color. Esta tecnología ofrece avances dramáticos en la capacidad de los procesadores de plásticos y usuarios finales, permite hacer el marcado permanente de una extensa variedad de componentes de plástico utilizando una amplia paleta de colores. Se espera que, en la mayoría de los segmentos del mercado, esta tecnología reemplace una porción importante de las operaciones tradicionales de imprenta del plástico, así como de decoración/codificación de etiquetas adhesivas. El resultado será una reducción considerable de emisiones de VOCs (gracias a la eliminación de los disolventes usados en la producción, uso y lavado de tintas), una mayor reciclabilidad de los componentes de plástico desechado (a diferencia de las etiquetas, la técnica con láser no tiene efecto alguno sobre la reprocesabilidad del material fundido) y menores riesgos legales en partes críticas, en las cuales las etiquetas suelen rasgarse o desprenderse.

Comparada con la primera generación de marcado de plásticos con láser, la nueva tecnología brinda las siguientes características: un mayor contraste entre la marca y el sustrato; una aplicabilidad más amplia a las clases más importantes de resinas termoplásticas, así como de algunas termoestables (gracias a las formulaciones de aditivos ad hoc y a la manipulación de la energía láser, en lugar de la reformulación de la resina base); la capacidad de superar lo que era básicamente una paleta monocromática; y, la reducción del daño térmico potencial a las láminas

**M.A. Hanna Color—  
Technical Center**

de material del componente, dado que la nueva tecnología no emplea la pirolización. La velocidad, la flexibilidad y la economía concomitantes cuentan como ventajas adicionales. Con base en cifras proporcionadas por el Departamento de Comercio de los EEUU y por la Guía Rauche sobre la industria de la tinta en EEUU, el monto total de disolvente vinculado al uso de tintas en la industria del plástico asciende a 22.4 millones de libras (11,200 toneladas) por año. Asumiendo de manera conservadora que el contenido promedio de disolvente es del 30%, M.A. Hanna Color estima que, en los primeros dos años de uso, la nueva tecnología láser de marcado a color podría reemplazar cerca del 10% de los procesos de decorado de componentes de plástico que involucran el uso de tintas. En los primeros diez años, esta cifra bien podría alcanzar 50%. De cumplirse la proyección de 10%, en los EEUU, anualmente, se eliminarían cerca de 1,120 toneladas (2.24 millones de libras) de emisiones de VOCs ligadas a la producción de componentes de plástico.

## DuPont Company

### *Reducción de Emisiones de Tetracloruro de Carbono en la Fuente Productora Mediante el Desarrollo de un Nuevo Catalizador*

El fosgeno es un intermediario importante en la síntesis de plásticos de policarbonato, de polímeros de alto desempeño, de compuestos intermedios agrícolas y de espumas de uretano. La producción mundial se aproxima a los 10 billones de libras anuales. Aunque la química del proceso es selectiva, el tetracloruro de carbono ( $\text{CCl}_4$ ) se obtiene como producto secundario a razón de 300 a 500 partes por millón, o sea 5 millones de libras anuales a escala mundial. El tetracloruro de carbono es un producto indeseable, por lo que es necesario reducir o evitar por completo su uso. No sólo se trata de un reconocido agente cancerígeno, sino también de una sustancia que contribuye al adelgazamiento de la capa de ozono y al aumento de la temperatura global.

Un grupo de trabajo de la Cia. DuPont descubrió un novedoso catalizador que se producía en Siberia, Rusia. Después de una evaluación exhaustiva a nivel de laboratorio, se tomó la decisión de efectuar una prueba a nivel industrial y se escaló el proceso por un factor superior a 250,000. En menos de un año desde el inicio del programa se llevaron a cabo la compra del catalizador, su envío desde Siberia y la puesta en marcha del proyecto. Después de año y medio de producción comercial, el nuevo catalizador ha mostrado tasas de producción de fosgeno consistentemente altas, así como un 90% de reducción en el nivel de tetracloruro de carbono (menos de 50 ppm, aparentemente un récord mundial). Gracias a la conceptualización del nuevo catalizador para la producción del fosgeno, su identificación, la realización de pruebas, la garantía de su abastecimiento desde Rusia y, ulteriormente, su utilización (cumpliendo holgadamente con la fecha límite de 18 meses), el equipo de trabajo rindió ahorros de \$2 millones de dólares, equivalentes al costo de instalación del nuevo horno de reducción, el cual hubiera sido la única otra alternativa disponible. Además, la disminución en la frecuencia de cambios de catalizador en el reactor y la supresión de los costos de mantenimiento que el horno de reducción hubiera requerido, ambos factores ahorran cerca de \$400,000 dólares adicionales por año. Es posible obtener licencias comerciales de utilización de esta tecnología de catálisis a nivel mundial, lo que podría reducir la emisión de  $\text{CCl}_4$  en hasta 5 millones de libras por año.

## *Eliminación de Óxidos de Nitrógeno (NOx) Mediante la Adición in situ de Peróxido de Hidrógeno a un Proceso de Disolución de Metales*

La Cia. Mallinckrodt Inc. desarrolló el concepto de eliminación de óxidos de nitrógeno (NOx), mediante la adición in situ de peróxido de hidrógeno a un proceso de disolución de metales. La disolución de metales en ácido nítrico produce sales y acarrea la generación de cerca de 30 toneladas anuales de emisiones de NOx. Se llevó a cabo un estudio para encontrar el método más efectivo para reducir las emisiones de NOx del proceso de disolución. La literatura científica estipula que la presencia de NOx es indispensable para catalizar la reacción de disolución. Mallinckrodt Inc. afrontó las implicaciones de esta premisa y propuso reconvertir el NOx en ácido nítrico por oxidación mediante la adición directa de peróxido de hidrógeno. De esta manera se podría lograr la eliminación completa de las emisiones de NOx. Este concepto fue demostrado en el laboratorio y posteriormente se efectuaron dos pruebas experimentales. En ambos casos, la formación de NOx fue eliminada por completo. Con base en la información generada en dichas pruebas y con la ayuda del personal de investigación y desarrollo, el departamento de producción diseñó un proceso de adición de peróxido de hidrógeno, mismo que fue puesto en marcha exitosamente. El nuevo proceso ha evitado la generación de 30 toneladas anuales de NOx y, simultáneamente, ha reducido la utilización de 109 toneladas por año de ácido nítrico. Asimismo, al volverse innecesario el lavador se eliminaron los 13 millones de galones de aguas residuales que desechaba cada año.

**Mallinckrodt Inc.**

## *Reemplazo del Asbesto en el Proceso de Celdas de Diafragmas para La Fabricación de Cloro y Sosa Cáustica*

La Cia. PPG desarrolló Tephram®, un diafragma sin asbesto para las celdas electrolíticas que se usan en la producción de cloro y sosa cáustica (NaOH). Cerca del 75% del cloro y de la sosa cáustica producida en los Estados Unidos se fabrica por electrólisis de salmueras en celdas electrolíticas con diafragmas. La sal en solución acuosa se alimenta en forma de analito a una celda electrolítica que consiste de un ánodo, un cátodo y un diafragma. En lugar de asbesto, el diafragma Tephram® utiliza materiales no nocivos. De este modo se reduce el grado de dificultad, tanto en el manejo de las materias primas, como en la eliminación de los materiales de desecho del diafragma al término de su vida útil. El diafragma Tephram® no sólo posee mayor compatibilidad con el medio ambiente y es más fácil de manejar con seguridad, sino que también posee mayor durabilidad que los diafragmas con asbesto y desempeña su función con una eficiencia energética superior. Además de disminuir el consumo de materiales y energía, la mayor durabilidad y eficiencia energética reducen los gastos asociados con la mano de obra requerida durante la reposición de células.

**PPG Industries, Inc.**

## *Proyecto Ambiental de Reducción de Desechos de Soldadura*

En el proceso de fabricación de circuitos eléctricos impresos (Printed Wiring Boards, PWB) se realiza una operación conocida como nivelación de soldadura con aire caliente (Hot Air Solder Leveling, HASL). Esta operación consiste en la aplicación de soldadura a los circuitos de cobre del PWB, creando una capa protectora para las operaciones subsecuentes de ensamblaje de componentes, en las plantas correspondientes. A medida que el PWB pasa por la soldadura fundida en el proceso HASL, parte del cobre del PWB se disuelve y se

**Viasystems Technology Corporation**

incorpora al baño de soldadura. En aplicaciones de PWB, el nivel máximo permisible de contaminación por cobre en la soldadura es de 0.30%. Con el objeto de mantener la contaminación de cobre por debajo de dicho nivel, usualmente se retira una parte (1/3) del baño de soldadura del proceso para reemplazarlo con soldadura virgen. Debido a su contenido de plomo (Pb), la soldadura usada se clasifica como residuo peligroso.

En 1991, el proceso de las instalaciones de Viasystems Corp. en Richmond generó 372,800 libras de residuos peligrosos de soldadura que tuvieron que ser desechados. Esta cantidad se redujo a 261,720 libras en 1992 con la optimización de los parámetros del proceso para minimizar la tasa de disolución de cobre. A pesar de que la reducción del flujo residual fue considerable, desde el punto de vista ambiental y económico, el nivel de producción de residuos resultante todavía se consideraba inadmisibles. Además, la problemática relacionada con el manejo del flujo de soldadura usada tuvo consecuencias negativas para la productividad del proceso químico y para el control del mismo.

Para mitigar aún más la producción del flujo residual de soldadura en el proceso HASL, en 1993 se llevó a cabo un proyecto de minimización de residuos. Se ideó un aparato desnatador en línea para lograr la eliminación preferente del cobre en la soldadura. El aparato recircula una fracción pequeña del contenido del recipiente de soldadura HASL (480 °F), lo dirige a través del desnatador que se mantiene a una temperatura 100 grados menor (380 °F), para después regresarlo al recipiente. También se diseñó un recipiente portátil de soldadura que funciona en combinación con el desnatador, para evitar la generación de residuo de soldadura mientras se llevan a cabo labores de mantenimiento. En 1996, como resultado de este proyecto de minimización, la cantidad bruta de envíos peligrosos de soldadura residual se redujo a 29,920 libras, en comparación con las 261,720 libras de 1992. Por cada 1,000 placas procesadas, la generación de soldadura residual se redujo de 199 libras en 1993, a 31 libras en 1996. Se alcanzó el 80% de reducción global de residuos. Asimismo, la reducción del residuo de soldadura rindió ahorros anuales superiores a los \$250,000 dólares, debido al menor consumo de soldadura virgen. En la actualidad hay más de 50 aparatos desnatadores de soldadura empleados en procesos HASL, en todo el mundo.

### *Proceso Sin Disolvente para la Producción de Polímeros Biodegradables de Ácido Láctico*

El ácido poliláctico (Polylactic Acid, PLA) es un versátil poliéster biodegradable que se deriva de recursos 100% renovables y ofrece un gran potencial para reemplazar plásticos derivados de la petroquímica, en una amplia variedad de aplicaciones finales. Hace ya mucho tiempo que se han reconocido las ventajas ambientales del PLA. Sin embargo, la viabilidad comercial del PLA ha estado muy limitada por el alto costo de su producción, el cual está en un rango superior a \$2 dólares por libra de resina. No obstante, en el campo de los polímeros biodegradables y de las fuentes renovables, es probable que el PLA sea “el gigante durmiente”.

La Cia. Cargill Dow Polymers, en combinación con sus compañías matrices, ha desarrollado un original proceso sin disolvente para la producción de lactida y ácido poliláctico. Dicho proceso logra la producción de un polímero compatible con el medio ambiente y biodegradable, tal que puede competir favorablemente con plásticos de consumo masivo derivados de la petroquímica. Tomando como base el ácido láctico, un producto de fermentación derivado de fuentes 100% renovables, el PLA se produce en un proceso de varias etapas. Para empezar, el ácido láctico en medio acuoso se polimeriza por condensación y produce un prepolímero de PLA de bajo peso molecular. Acto seguido, dicho prepolímero se despolimeriza para producir una mezcla isomérica de los monómeros L-y meso-lactida, ácido láctico y agua. Después, a través de un proceso patentado de purificación al vacío se

generan isómeros de lactida con una alta pureza. Finalmente, mediante la polimerización en masa fundida, siguiendo un mecanismo de apertura de anillos y usando estaño como catalizador, se produce el polímero de alto peso molecular.

La ventaja de este nuevo proceso sintético radica en evitar que la purificación de la lactida y el PLA se haga con disolventes costosos y ambientalmente nocivos. Otra ventaja ambiental del PLA radica en la posibilidad de ser 100% reciclable, una vez que su volumen comercial justifique un sistema propio de recolección. Los artículos producidos con PLA pueden ser hidrolizados con agua para producir ácido láctico con igualdad cuantitativa, el cual puede ser reciclado en el proceso de producción de PLA. Además, una de las características singulares del PLA es su rápida capacidad de biodegradación. Asimismo, el PLA es un polímero de bajo impacto para el efecto de invernadero, ya que el CO<sub>2</sub> generado por su biodegradación equivale exactamente al CO<sub>2</sub> atmosférico absorbido por la fuente de recursos renovables que lo produjo. Los polímeros derivados de la petroquímica son incinerados, contribuyen a la emisión de VOCs y al problemático aumento de la temperatura global. Por cada tonelada de polímero derivado de la petroquímica que se incinera, se liberan más de 3.7 toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Este proceso ya ha estado funcionando más de un año a escala semi-industrial, en Savage, Minnesota. Esta es la planta de PLA más grande del mundo y tiene capacidad para producir 8 millones lb/año. Se proyecta construir una planta comercial de PLA con capacidad anual de 250 millones de libras, con un precio meta de \$0.50/lb de PLA. Esta planta tendrá el potencial para eliminar hasta un billón de libras de CO<sub>2</sub> por año, asumiendo que el PLA logra reemplazar una cantidad equiparable de productos desechables de hidrocarburos que se destruyen por incineración. La combinación de una capacidad versátil de producción con viabilidad económica, tal combinación lleva a la práctica principios sólidos de química verde y, al mismo tiempo, coloca a los polímeros de marca EcoPLA™ en una posición competitiva con los plásticos derivados de la petroquímica, en una amplia gama de aplicaciones de consumo.

### *Proceso Sin Disolventes para la Producción de Semiconductores*

La industria de los semiconductores en EEUU utiliza anualmente más de 300 millones de libras de disolventes y otras sustancias químicas en la fabricación de microcircuitos integrados. Además del costo inicial de compra, la industria tiene que absorber los costos de manejo y tratado de los residuos ligados a estos materiales químicos peligrosos y contaminantes. En última instancia, el consumidor se encarga de cubrir estos costos al comprar una computadora nueva o cualquier otro producto (v.gr., teléfono celular) que utiliza microcircuitos integrados.

En esta industria, los usos más importantes de limpieza con disolvente son el grabado post metálico (Post Metal Etch, la aplicación tratada aquí) y el grabado post vía (Post Via Etch). A estos procesos se les conoce en la industria como procesos “de etapa final” y cada uno consume aproximadamente la misma cantidad de disolvente. En el grabado metálico se utilizan 125 millones de libras por año. En el territorio de los EEUU, esto equivale a un consumo anual de 18 millones de galones de disolvente. Se estima que las instalaciones de Conexant Systems, Inc. utilizan aproximadamente 20,000 galones de disolventes relacionados con aplicaciones de lavado post metálico, cada año. Si el precio del disolvente es de \$40 dólares por galón, esto equivale a un costo anual de \$800,000 dólares (sin tomar en cuenta el costo del manejo de desechos).

**Conexant Systems,  
Incorporated, ULVAC  
Technologies, Inc.**

ULVAC Technologies, Inc. desarrolló un nuevo proceso genérico de lavado post metálico que no emplea disolventes. El concepto desarrollado incorpora un proceso químico de plasma, el cual reemplaza los disolventes húmedos peligrosos, costosos y contaminantes en la fabricación de patrones metalizados sobre láminas de silicio. El proceso se puede adaptar a la química particular del proceso de manufactura de cada fabricante. Los experimentos iniciales determinaron los ajustes de proceso que eran necesarios para obtener un desempeño satisfactorio con el producto metálico de Conexant Systems, Inc. con 0.25u. Tales experimentos incluyeron: pruebas de desempeño eléctrico; inspección de limpieza y estabilidad en todas las etapas del proceso; confirmación de que la corrosión no presentará problemas y, en general, verificación del desempeño global satisfactorio de los dispositivos. El resultado ha sido una nueva línea de fabricación de niveles múltiples que no requiere de disolventes.

### *Agentes Tensioactivos Fragmentables*

La Cia. Union Carbide desarrolló una nueva clase de agentes tensioactivos (surfactantes). Estos agentes posibilitan una reducción considerable de la cantidad de materia orgánica emulsificada que se descarga en los flujos de aguas residuales generados por la industria. Estos agentes tensioactivos fragmentables muestran un desempeño superior en usos de consumo final, en particular si se les compara con agentes de uso común en el tratamientos de aguas, así como otros que se han propuesto pero que todavía no han ganado aceptación generalizada debido a las limitaciones de su desempeño. Los flujos residuales que contienen agentes tensioactivos fragmentables se dividen en fragmentos y se desactivan rápida, fácil, completa e irreversiblemente, mediante la acción de una “llave” química. Una vez desactivados, se convierten en componentes no tensioactivos, lo que permite la rápida separación del desecho aceitoso y el agua. Se genera un desecho aceitoso de mayor concentración, lo que abre tres opciones;1) la recuperación de su valor como combustible por medio de la incineración (aplicaciones de lavandería industrial); 2) su aislamiento para ser reciclado (fluidos de labores con metales) o 3) el uso directo (aislamiento de la lanolina en el desgrase de la lana). Antes de ser fragmentados y desactivados, los agentes tensioactivos fragmentables poseen un perfil ambiental similar al de agentes no iónicos convencionales. Una vez desactivados, tanto los componentes hidrofílicos como los hidrofóbicos sufren biodegradación rápida y el componente hidrofílico que permanece en el flujo residual de agua no presenta propiedades tóxicas para la vida acuática. La tecnología de agentes tensioactivos fragmentables constituye la primera alianza industrial en el contexto de la iniciativa “Tecnológica Ambiental para Sustancias Químicas” (Environmental Technology Initiative for Chemicals) de la EPA. La propia agencia reconoció a estos productos como “innovaciones importantes en la química tensioactiva que reducen considerablemente el peligro al ambiente acuático” y les otorgó el Reconocimiento al Mérito en la Prevención de la Contaminación.

### *Polímeros Injertados con Almidón como Extendedores de Resinas Fenólicas*

Los polímeros injertados con almidón se derivan del almidón modificado, de los monómeros vinílicos y de los monómeros acrílicos convencionales. Si bien los polímeros injertados con almidón se conocen desde hace tiempo, la tecnología desarrollada por Sequa Chemicals resolvió los problemas reológicos relacionados con los productos anteriores y obtuvo una presentación fluida benéfica, con características semejantes al látex. Utilizando conceptos de la tecnología de recubrimiento de papel con glioxal, estos nuevos polímeros injertados con almidón también utilizaron un sistema singular de entrecruzamientos sin

formaldehído. Inicialmente, esta tecnología novedosa fue usada para reemplazar los polímeros convencionales de látex preparados con el sistema de entrecruzamiento de acrilamida de metilo (que es una fuente de emisiones de formaldehído). El material se usó en aplicaciones de aglomerantes de fibra de vidrio y de mantas de poliéster sin tejer. De este modo se dispuso de un sistema aglomerante que evitó las emisiones de formaldehído, al mismo tiempo que se mantuvo un buen desempeño a un costo aceptable.

Los polímeros injertados con almidón en emulsión son acuosos, atóxicos y no irritantes. Trabajos más recientes han estudiado el uso de dichos polímeros como extendedores de resinas de fenol—formaldehído (phenol-formaldehyde, PF). En general, una resina PF acuosa contiene cerca de 2% de formaldehído libre. En los Estados Unidos se venden aproximadamente un billón de libras de resina PF acuosa por año, las cuales corresponden a un monto aproximado de 20 millones de libras de formaldehído libre que es transferido a los espacios de trabajo y al medio ambiente, cada año. Se ha descubierto que los productos de polímeros injertados con almidón no sólo disminuyen considerablemente las emisiones de formaldehído, sino que también existe una sinergia funcional con las resinas PF. El desempeño óptimo se encuentra cerca del punto medio de composición. Tal desempeño sinérgico nunca se había observado con polímeros convencionales látex de emulsión. Propiedades técnicas como la resistencia a la tensión, el reventado y la rigidez presentan un desempeño superior a las resinas PF o a los polímeros de almidón, cuando se les prueba por separado. La extensión proporcional de las resinas PF disminuye la concentración de fenol residual al no reaccionar en el producto final. Se han medido reducciones proporcionales en las emisiones de formaldehído y se ha observado un efecto de barrido durante las pruebas diseñadas para evaluar la exposición del personal que maneja el sustrato tratado con el material. El producto de esta tecnología se encuentra a la venta en niveles de camiones tanque y sus ventajas se están promoviendo en diversas industrias.

### *Poliol “PA Lites” de Stepan Company*

El producto poliéster polioliol de la Cia. Stepan Company se fabrica usando la fracción ligera del proceso de anhídrido ftálico (Phthalic Anhydride Process Light Ends, PA Lites). La utilización de este material, previamente considerado un desecho, evita la necesidad de eliminarlo por incineración. Por su parte, el poliéster polioliol es la materia prima básica para la preparación de varios tipos de tablas de aislamiento, de uso en el sector de la construcción de casas y plantas industriales. A través de la sustitución de materias primas tradicionales con PA Lites, la Cia. Stepan aporta a la industria de la construcción y a los consumidores finales una alternativa económicamente eficiente, en comparación con otros productos comunes de construcción.

Las ventajas derivadas de dicha sustitución de productos van más allá de la supresión de un residuo que es necesario eliminar. Al usarse las PA Lites como materia prima se redujo la necesidad del anhídrido ftálico—que es la materia prima tradicional en la preparación del polioliol—y se disminuyeron las emisiones a la atmósfera vinculadas con su fabricación. Asimismo, como parte del desarrollo de este proceso, también se lograron mejoras en la operación de destilación de la planta de anhídrido ftálico. Se estima que, gracias al desarrollo y puesta en ejecución de esta tecnología, se evitó la formación de 350 toneladas por año de materias orgánicas de desecho. Ello representa no sólo una disminución considerable de los desechos que requieren incineración, sino también de las emisiones a la atmósfera. Dado que un material previamente considerado como desecho ahora se usa como insumo en la planta productora de poliéster polioliol, también se logró evitar tanto el transporte de PA Lites a una planta de incineración, como la concomitante exposición potencial de la población.

**Stepan Company**

## Stepan Company

Como resultado de este proyecto se obtuvieron dos beneficios económicos. El primero corresponde a un ahorro anual de \$200,000 dólares derivado de costos menores de transporte y de manejo de desechos, gracias al uso en mezclas de combustible para la recuperación de energía. El segundo beneficio económico rinde ahorros adicionales de \$20,000 dólares por año y se deriva del reemplazo, libra por libra, de PA puro con PA Lites.

### *Espuma Rígida de Poliuretano Stepanfoam® Esponjada con Agua, Libre de HCFCs y Compatible con el Medio Ambiente*

En la espuma de poliuretano STEPANFOAM® esponjada con agua de la Cia. Stepan, los CFCs y los HCFCs han sido reemplazados por el agua como agente espumante de la espuma rígida. Históricamente, las espumas de poliuretano empleadas como materiales de aislamiento térmico se producen con agentes espumantes como el triclorofluoroetano (CFC-11) o, más recientemente, el 1,1-dicloro-1-fluoroetano (HCFC-141b). Sin embargo, los CFCs y HCFCs han sido identificados como parcialmente responsables del adelgazamiento de la capa atmosférica de ozono, así como del aumento de la temperatura mundial. Las espumas rígidas de poliuretano poseen el potencial para liberar CFCs y HCFCs al medio ambiente durante su formulación, su fabricación, su uso y su manejo como desechos. La sustitución de estos agentes espumantes con el agua, un material totalmente inerte, evita tanto la necesidad de usar estos compuestos ambientalmente nocivos, como las emisiones al medio ambiente que se derivan de su uso. A lo largo de los años 90, la Cia. Stepan se abocó al desarrollo de espumas de poliuretano de bajo costo, con tecnología de punta para sustituir los agentes espumantes ambientalmente nocivos y potencialmente peligrosos con agua. Para promover el uso de la espuma de poliuretano STEPANFOAM® como una alternativa viable a los CFCs y HCFCs, el departamento de investigación y desarrollo, en colaboración con grupos de trabajo del departamento de negocios de la Cia. Stepan, se asoció con sus clientes a todo lo largo del proceso de desarrollo y aplicación.

## Antelman Technologies, Ltd.

### *Excelente Sustituto del Cloro en el Tratamiento de Aguas*

Hoy en día, el cloro es el producto de uso más común en el tratamiento de aguas industriales y de recreación. Sin embargo, su empleo ha venido acompañado de toda una serie de quejas personales y de riesgos ambientales. Las aguas cloradas a menudo terminan en las vías fluviales, causando la destrucción de organismos que sustentan la cadena alimenticia de la vida acuática. Asimismo, se ha constatado que ciertas interacciones de tipo ambiental posibilitan la derivación de cloraminas, sustancias altamente cancerígenas que a la postre se incorporan en las cadenas alimenticias de los animales superiores y de los seres humanos. Sildate® proporciona una solución práctica a un dilema ambiental: ¿Cómo lograr el saneamiento del agua sin usar cloro u otros halógenos como el bromo?

Sildate® es un sistema de tratamiento de aguas totalmente nuevo e integral, atóxico y ambientalmente compatible, con características viricidas, bactericidas y algicidas en concentraciones de partes por millón. Cada molécula de Sildate® es un cristal molecular individual, diamagnético y semiconductor, que mata a los gérmenes peligrosos por electrocución directa y quelación, en lugar de recurrir al envenenamiento convencional. Dada la naturaleza de su acción biocida, Sildate® es totalmente atóxico para los organismos superiores de vida. Su dispositivo monomolecular constituye un producto singular, económico, patentado y disponible en el mercado que satisface una muy importante necesidad de salud pública, sin acarrear los serios problemas ambientales relacionados con



otros productos de uso actual. Su uso es seguro para la especie humana, la vida silvestre, los animales domésticos, los seres acuáticos y el medio ambiente a nivel mundial.

## *Revestimientos Acuosos de Poliuretano de dos Componentes*

**Bayer Corporation,  
Bayer AG (Alemania)**

Desde hace mucho tiempo, los sistemas de poliuretanos de dos componentes en disolvente se han considerado el estándar de rendimiento superior en numerosas aplicaciones de revestimiento. El gran atractivo de estos sistemas radica en sus características de curado rápido en condiciones ambientales o de horneado, brillo superior, acabado de espejo, dureza o flexibilidad a la medida, resistencia a las sustancias químicas y los disolventes y, excelente resistencia al envejecimiento a la intemperie cuando se usan poliisocianatos alifáticos. Sin embargo, sus vehículos tradicionales han sido disolventes orgánicos, los cuales, una vez curada la resina, se liberan al medio ambiente en forma de VOCs y de contaminantes peligrosos del aire (Hazardous Air Pollutants, HAPs). El uso de sistemas con alto contenido sólido reduce la magnitud del problema pero no lo resuelve del todo.

Las dispersiones acuosas de poliuretano (Aqueous Polyurethane Dispersions, PUDs) pueden brindar las propiedades típicas de los revestimientos de poliuretano, usando un sistema acuoso con menor contenido de disolvente orgánico. Para permitir su dispersibilidad en agua, las formulaciones más comunes de dichos materiales contienen poliuretanos totalmente reaccionados, de alto peso molecular, e iónicamente modificados. Sin embargo, debido al bajo nivel de entrecruzamiento, su resistencia a las sustancias químicas y los disolventes no suele ser equivalente a las películas de poliuretano de dos componentes con disolvente como sustrato. Además, la preparación de las dispersiones de poliuretano frecuentemente requiere la adición de un disolvente latente (codisolvente).

En 1992, la Cia. Bayer introdujo revestimientos de poliuretano de alta calidad, usando dos componentes (2K) y agua como vehículo. La industria de los revestimientos se asombró, porque hasta entonces se consideraba que los poliuretanos 2K requerían de protección absoluta del agua. El desarrollo de formulaciones acuosas que produjeran películas equivalentes a las contrapartes con disolvente no era un asunto trivial. Fue necesaria la invención de los poliisocianatos dispersables en agua y una gran cantidad de trabajo dedicado al desarrollo de adecuaciones prácticas para una variedad de segmentos del mercado. También se desarrolló un nuevo equipo rociador que posibilita la aplicación sencilla y económica de este revestimiento ambientalmente compatible. El trabajo realizado durante los últimos años en los poliuretanos acuosos ha dado por resultado una tecnología que proporciona beneficios ambientales y para la salud. Los VOCs se redujeron de 50 a 90% y los HAPs de 50 a 99%. También se redujo la cantidad de productos químicos secundarios que emanan de la aplicación de películas en interiores. En los Estados Unidos, los revestimientos acuosos 2K ya se encuentran a la venta en segmentos del mercado como el acabado industrial, el acabado de la madera, los revestimientos de pisos, los recubrimientos de uso militar y las aplicaciones en interiores automotrices.

## *Uso de atalizadores Sólidos para la Prevención de la Contaminación en la Nitración de Compuestos Aromáticos*

Las reacciones de nitración de sustratos aromáticos son relevantes para la producción industrial de una amplia variedad de sustancias químicas básicas, sustancias químicas y farmacéuticas intermedias, así como explosivos. Los agentes de nitración de uso más práctico y generalizado son las mezclas de ácidos nítrico y sulfúrico concentrados. Estos sistemas homogéneos son sumamente corrosivos y presentan serios problemas ambientales relacionados con la descarga de los ácidos consumidos. Este proceso tradicional de nitración carece notoriamente de selectividad reactiva y origina una distribución estadística de productos isoméricos nitrados con sustituciones orto, meta y para. Asimismo, el proceso necesita una etapa de lavado acuoso para retirar los productos secundarios de oxidación, lo que genera un flujo residual de baja compatibilidad ambiental que requiere un procesamiento muy costoso.

Por lo tanto, existe una gran necesidad de encontrar un método nuevo que resuelva los problemas relacionados con el proceso tradicional de nitración por mezcla ácida, de uso generalizado en la industria. Por ello se desarrolló un proceso de nitración que produce un isómero para-nitrado de alta selectividad posicional (regioselectivity) en bencenos alquilados y halogenados, bajo condiciones moderadas, utilizando ácido nítrico concentrado y un catalizador sólido. Con el fin de producir un isómero comercial para-nitrado con buen rendimiento, se nitraron varios sustratos aromáticos usando ácido nítrico de grado industrial—como agente de nitración—y zeolita de fácil disponibilidad y bajo costo—como catalizador de ácido sólido. El aumento en la selectividad posicional del para-isómero, de mayor aceptación comercial se debe a las características selectivas conferidas por el catalizador sólido.

El proceso posee varias ventajas prácticas: 1) selectividad posicional considerablemente superior que favorece una formación del isómero de para-sustitución aromática con buen rendimiento; 2) facilidad de separación y de recuperación de productos y 3) bajo costo. El catalizador sólido es fácil de regenerar y reutilizar por recalcinación. Este proceso representa una opción atractiva en la síntesis limpia de toda una serie de compuestos nitroaromáticos. Por ejemplo, evita la formación del isómero indeseable meta-nitrotolueno y de otros productos secundarios en la producción del 2,4,6-trinitrotolueno (TNT). Por consiguiente, también evita el fenómeno de contaminación de “aguas rojas.” La formación selectiva posicional del isómero p-nitrado tiene un mayor atractivo comercial y abre posibilidades singulares de aplicación en las industrias del poliuretano y del tinte. En consecuencia, la división de poliuretanos de Bayer Corporation se encuentra evaluando esta tecnología para utilizarla en las fábricas de dichos productos.

## *Tintas de Imprenta a Base de Aceites Vegetales con Beneficios Ambientales*

En la actualidad, el mercado estadounidense de tintas de diarios es superior a los 500 millones de libras, de los cuales por lo menos 100 millones de libras corresponden a tintas de alimentación de hojas (sheetfed inks) y otros 400 millones de libras a tintas de curado con calor (heatset inks). Las tintas convencionales de imprenta que se usan en estas aplicaciones son sistemas multicomponentes con hidrocarburos y/o resinas alquídicas, un disolvente de hidrocarburo, un pigmento y algunos aditivos opcionales. La gran cantidad de resinas y disolventes petroquímicos que se usan en las formulaciones de estas tintas están causando

problemas ambientales y de contaminación, tanto durante su producción como durante su manejo como desechos. En años recientes, la industria ha podido utilizar aceite de soya (soja) para sustituir una parte del petróleo empleado. Sin embargo esta sustitución con aceite vegetal se ha dado en proporciones relativamente bajas, es decir, con base en el total de la fórmula en peso, la tinta de diarios contiene 40% de aceite vegetal (incluyendo el aceite de soya), la tinta de alimentación de hojas 20% y la tinta de curado con calor 7%.

En contraste con estas cifras, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) desarrolló tintas litográficas para impresión de diarios, de alimentación de hojas y de curado con calor, utilizando en todas ellas vehículos compuestos con 100% de aceite de soya u otros vegetales, eliminando así todo derivado del petróleo de sus formulaciones. Los vehículos de tintas se prepararon a través de la polimerización de los aceites vegetales. Mediante el control de las condiciones de polimerización, se pudieron obtener las propiedades deseadas de viscosidad, color y peso molecular, en una variedad de aceites vegetales con amplio rango de valores de iodo y composición de ácidos grasos. Estos vehículos se usaron para formular tintas de diarios en cuatro colores primarios (negro, azul turquesa, magenta y amarillo).

En el caso de los vehículos de tintas de alimentación de hojas y de curado con calor, el aceite vegetal polimerizado térmicamente se combinó con un monoéster o una mezcla de monoésteres de ácidos grasos insaturados. En la formulación de tales vehículos, se utilizó un aceite vegetal no modificado como tercer ingrediente. Los ésteres se agregaron a niveles relativamente bajos—un rango de 0.5 a 3.0% en peso del vehículo. El principal componente del vehículo es aceite, ya sea polimerizado o sin modificar y, por lo tanto, es el responsable primario de las propiedades reológicas de la tinta formulada.

Las propiedades físicas de estas tintas (v.gr. viscosidad, pegajosidad, tiempo de secado, aptitud para la impresión), al igual que su desempeño, alcanzan o superan los estándares de la industria. Las pruebas de biodegradación y de contenido de sustancias orgánicas que se aplicaron mostraron, de nueva cuenta, la superioridad de nuestras tintas comparadas con las tintas comerciales.

### *Siloxanos de Metilo Volátiles: Sistemas de Disolventes Compatibles con el Medio Ambiente*

Los siloxanos de metilo lineales volátiles (Linear Volatile Methyl Siloxanes, VMS) son una clase de disolventes moderados que poseen una combinación poco usual de características ambientales benignas. Su toxicidad es baja, su contribución al aumento de la temperatura mundial es pequeña, no contribuyen a la contaminación urbana por ozono, ni atacan la capa estratosférica de ozono. En lugar de acumularse en la atmósfera, estos materiales se transforman rápidamente en sustancias cuya presencia es natural y recibieron la autorización del Programa de Estrategias Normativas para Alternativas Novedosas y Significativas (Significant New Alternatives Policy Program, SNAP) y la exención VOC de la EPA.

La solvencia de los VMS puede ser ajustada a las condiciones específicas de cada aplicación mediante el uso de solventes inertes y agentes tensioactivos (surfactantes). Con base en estos materiales se han generado once patentes estadounidenses, 26 azeótropos nuevos, 5 disolventes comerciales y varios productos formulados. Se han estudiado extensamente los fenómenos funcionales relacionados con su uso en la sustitución de disolventes menos benignos, tanto en la formulación de recubrimientos, como en la remoción de materia particulada, de aceites, de agentes fluidificantes y de contaminantes acuosos. Estos materiales son ampliamente recomendables para muchos usos debido a su solvencia moderada pero graduable, a su alto grado de compatibilidad ambiental y a su carácter inodoro. En su

**Dow Corning  
Corporation**

presentación de alta pureza—indispensable en numerosas aplicaciones—no dejan residuo superficial. Estos materiales también poseen una utilidad potencial en el secado por desplazamiento de agua (Water Displacement Drying) de alta precisión, en el transcurso de las muchas etapas de procesamiento acuoso de las pantallas de perfil plano y en la producción de semiconductores.

#### **Supratech Systems Inc.**

### *Placa “Flexceed” de Fotopolímero Flexo Lavable con Agua y Su Propio Sistema de Lavado*

La flexografía (Flexo) es un método de imprenta rotativa directa que utiliza placas elásticas de imagen en relieve. Se trata del proceso de imprenta de más rápido crecimiento en el mundo. Para crear imágenes en relieve, las placas convencionales de fotopolímero Flexo sólo se pueden lavar con disolventes orgánicos. Los problemas asociados con el uso de disolventes incluyen la emisión de VOCs, la inflamabilidad debida a los bajos puntos de inflamación, los residuos peligrosos y sus repercusiones para la salud humana. Por estas razones, la placa “Flexceed” de fotopolímero Flexo se diseñó para ser lavada con agua y evitar el uso de disolventes orgánicos. Tanto la placa “Flexceed” como su procedimiento de lavado se diseñaron como un sistema integral para asegurar que el tratamiento de la solución de lavado cumpla con los reglamentos del manejo de desechos, a un costo razonable y con una conceptualización fácil de llevar a la práctica. El sistema de lavado de reciente creación habrá de permitir una mayor libertad de acción para el desarrollo de nuevos tipos de placas “Flexceed”, de tal modo que se satisfagan los requisitos de “Flexceed” para los nuevos segmentos del mercado de Flexo, al mismo tiempo que se preserva su perfil ambiental benéfico. Ha quedado plenamente demostrado que el sistema integral “Flexceed” es aceptable para cada segmento del mercado de la industria de la imprenta Flexo. Ello se debe no sólo a su desempeño, sino también a las ventajas económicas que aporta, en comparación con los sistemas de placas de fotopolímero Flexo que usan el lavado convencional de disolventes.

#### **E.I. duPont de Nemours & Co., Inc.**

### *Procesamiento Fotográfico Sin Efluentes para la Industria de la Impresión*

En sus operaciones de preimpresión, la industria de la impresión consume anualmente alrededor de 1.5 billones de pies cuadrados de película fotográfica de haluro de plata. El procesamiento de la película consume cantidades enormes de agua y de sustancias químicas, además de que produce una cantidad igualmente enorme de residuos líquidos, los cuales son mayormente descargados en plantas públicas de tratamiento de aguas (Publicly Owned Treatment Works, POTWs). El proceso también genera millones de envases de plástico de desperdicio. Prácticamente ninguno de estos materiales se reciclan y la presión sobre el medio ambiente resulta muy grande. Cada año se consumen cerca de 400 millones de galones de agua potable y, después de descargar en ella los contaminantes de la película procesada, se le envía a las POTWs locales. Además de eso, en las POTWs se descargan 15 millones de galones de revelador fotográfico, con miles de toneladas de sustancias químicas nocivas—como la hidroquinona. Aún más, 15 millones de galones de fijador fotográfico que contienen altos niveles de amoníaco y plata también se mandan a las POTWs. Si bien es cierto que con la ayuda de varios procesos se recupera una fracción de esta plata, estos procesos no son muy eficientes y la recuperación del metal precioso es sólo de alrededor del 50%. Los pocos esfuerzos que se han realizado para proteger al medio ambiente se han enfocado principalmente a la recuperación de la plata, dado su valor intrínseco, o en la reducción del uso del agua, en lugares donde su precio es muy alto.

Los residuos que se producen en la fase de preimpresión de esta industria crean una situación compleja que requiere de un esfuerzo coordinado para lograr su manejo. El sistema de procesamiento de película fotoquímica DuCare de Dupont es precisamente un esfuerzo de tal naturaleza. Dicho sistema confronta el componente más voluminoso del problema—el agua de lavado—mediante el desarrollo de una tecnología nueva que reduce el requerimiento de agua en 99% y que además, evita por completo el flujo de desecho de agua de lavado al reincorporarlo en el fijador. El sistema DuCare también incluye un novedoso revelador reciclable derivado del ácido eritórico (isoascórbico) para reemplazar a la hidroquinona. El proceso permite reciclar cerca del 75% del revelador usado para reutilizarlo en la preparación de nuevo revelador. Además, el sistema DuCare también incluye un fijador reciclado. Esta última técnica no es nueva, pero se ha rediseñado de manera mucho más efectiva y eficiente que en ocasiones anteriores. El fijador y el revelador se regresan a un centro de reciclado, donde se recupera la plata con una eficiencia de 99% y, dada la capacidad analítica y de control de dicho centro, se hace posible que 90% del fijador sea reciclado en la preparación del nuevo. El resultado neto de este enfoque coordinado prácticamente evitaría la generación de residuos líquidos si se aplicase de manera íntegra en toda la industria. Los ahorros anuales en agua potable serían superiores de 395 millones de galones y se dejarían de enviar residuos líquidos a las POTWs. Todos los líquidos se reciclarían. Los que no pudiesen ser reciclados, se mandarían a plantas comerciales autorizadas de tratamiento, almacenamiento o eliminación (Treatment Storage or Disposal Facilities, TSDFs). Los envases de desechos se reducirían considerablemente. Asimismo, el reciclado eficiente y la reutilización de los flujos de sustancias químicas agotadas evitarían la necesidad de adquirir miles de toneladas de materias primas.

# Índice

Los ganadores de premios se indican con un \*.

## **3M Center**

*Hidrofluoroéteres (HFEs)—El Balance Correcto de Propiedades . . . . . 62*

## **ABB Power T&D Company Inc.**

*Fluido de Aislamiento Eléctrico Completamente Biodegradable a Base de Aceite Vegetal (BIOTEMP™) . . . . . 59*

## **Akzo Nobel**

*Un Catalizador de Hidrodechloración Durable Para la Conversión Selectiva del CCl<sub>4</sub> en CHCl<sub>3</sub> . . . . . 53*

*Una Nueva Generación de Fluidos Resistentes al Fuego . . . . . 72*

## **Albright & Wilson Americas, Inc.**

*Un Nuevo Inhibidor de la Corrosión para Sistemas de Refrigeración Compatible con el Medio Ambiente. . . . . 71*

## **Allied Signal Inc.**

*Un Proceso Innovador para la Fabricación de Caprolactama a Partir de Alfombras de Nylon 6 Recicladas y de Otros Artículos de Nylon 6 de Desecho . . . . . 64*

## **Almaden Research Center, IBM Corporation**

*Programa de Cinética Química . . . . . 48*

## **American Air Liquid**

*Proceso de Reciclado PFC de Air Liquid . . . . . 45*

## **American Society for Testing & Materials (ASTM)**

*Análisis de Metales Pesados en Residuos Líquidos Peligrosos Mediante Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X con Dispersión de Energía (EDXRF) . . . . . 45*

## **AMSOIL Incorporated**

*Reducción de los Desechos de Aceite Mediante la Extensión de su Vida Útil . . . . . 41*

## **Anderson Chemical Company**

*Programa de Impacto Total: Un Programa para Lavanderías Compatible con el Medio Ambiente . . . . . 41*

## **Antelman Technologies, Ltd.**

*Excelente Sustituto del Cloro en el Tratamiento de Aguas . . . . . 84*

## **Antia, Jimmy E. and Govind, Rakesh, Facultad de Ingeniería Química, University of Cincinnati**

*Nuevos Recubrimientos In Situ de Zeolita en Monolitos. . . . . 23*

## **Arkenol, Holdings, L.L.C.**

*Azúcares Derivados de Materiales de Lignocelulosa para la Producción de Combustibles y Compuestos Químicos de Base Biológica. . . . . 41*

## **BAT Technologies Inc.**

*Imprimador para Pintura contra la Acumulación de la Suciedad y la Incrustación . . . . . 39*

## **Bayer Corporation, Bayer AG (Alemania)**

*Revestimientos Acuosos de Poliuretano de dos Componentes . . . . . 85*

<b>Beckman, Eric J., Facultad de Ingeniería Química, University of Pittsburgh</b>	
<i>Formación de Peróxido de Hidrógeno en Dióxido de Carbono . . . . .</i>	<i>17</i>
<i>Extracción y Recuperación de Metales Usando Dióxido de Carbono. . . . .</i>	<i>19</i>
<b>Bergbreiter, David E., Facultad de Química, Universidad A&amp;M de Texas</b>	
<i>El uso de Polímeros Solubles para Recuperar Catalizadores y Controlar Reacciones Aatalíticas . . . . .</i>	<i>28</i>
<b>BetzDearborn, Inc.</b>	
<i>Diseño de un Inhibidor de la Corrosión del Cobre, Compatible con el Medio Ambiente, para Sistemas de Refrigeración. . . . .</i>	<i>50</i>
<b>BIOCORP, Inc.</b>	
<i>Material Termoplástico Biodegradable . . . . .</i>	<i>33</i>
<b>Biofine, Incorporated</b>	
<i>*Transformación de Desechos de Biomasa de Bajo Costo a Ácido Levulínico y sus Derivados . . . . .</i>	<i>4</i>
<b>Bose, Ajay K., Stevens Institute of Technology</b>	
<i>Uso de Microondas para Realzar el Desempeño de Reacciones Orgánicas (MORE) Empleadas en la Síntesis Química con Compatibilidad Ecológica . . . . .</i>	<i>20</i>
<b>Burch Company</b>	
<i>El Aparato y Método de Burch para Tratar Selectivamente la Vegetación a Fin de Reducir el Uso de Pesticidas y Fertilizantes, Eliminar la Emisión de Ciertas Toxinas al Medio Ambiente, Reducir el Escurrimiento de Pesticidas y la Exposición Potencial del Trabajador a las Sustancias Tóxicas. . . . .</i>	<i>33</i>
<b>Burlington Chemical Company</b>	
<i>Desarrollo de un Modelo y Proceso Prácticos para Reducir Sistemáticamente el Impacto Ambiental de Sustancias Químicas Empleadas en la Industria Textil y en Otras Industrias Conexas . . . . .</i>	<i>35</i>
<b>Centro Edgewood de Investigación, Desarrollo e Ingeniería del Ejército de los EEUU</b>	
<i>Prueba de Fugas en Filtros Mediante el Empleo de Compuestos Inertes para el Ozono. . . . .</i>	<i>58</i>
<b>Centro de Investigación de Albany, Departamento de Energía de los EEUU</b>	
<i>Procesamiento Sin Cloro de Chatarra de Aluminio . . . . .</i>	<i>48</i>
<b>Centro de Investigación, Desarrollo e Ingeniería de Armamentos del Ejército de los EEUU</b>	
<i>Uso de Catalizadores Sólidos para la Prevención de la Contaminación en la Nitración de Compuestos Aromáticos . . . . .</i>	<i>86</i>
<b>Centro Nacional de Investigación de Productos Derivados de la Agricultura, Departamento de Agricultura de los EEUU</b>	
<i>Síntesis Ambientalmente Benigna de Mezcla de Monoglicéridos Acoplada al Enriquecimiento por Fraccionamiento Supercrítico de Fluidos . . . . .</i>	<i>57</i>
<i>Tintas de Imprenta a Base de Aceites Vegetales con Beneficios Ambientales . . . . .</i>	<i>86</i>
<b>Centro de Investigación Regional del Sur, Departamento de Agricultura de los EEUU</b>	
<i>Agentes Antibacterianos Benignos para el Medio Ambiente. . . . .</i>	<i>55</i>

<b>Centro de Investigación T.J. Watson, IBM Corporation</b>	
<i>Tarjeta Verde: Una Tecnología para Placas de Circuitos Eléctricos Impresos a Base de un Biopolímero Compatible con el Medio Ambiente . . . . .</i>	<i>60</i>
<b>CerOx Corporation</b>	
<i>Tecnología de Proceso CerOx para la Destrucción no Térmica de Desechos Orgánicos Peligrosos . . . . .</i>	<i>34</i>
<b>Chemecol, L.L.C., Forbo International, and McDonough Braungart Design Chemistry, L.L.C.</b>	
<i>Tecnología para Reemplazar el PVC . . . . .</i>	<i>76</i>
<b>Ciba Specialty Chemicals Corporation</b>	
<i>Modificador de Fricción/antioxidante Sin Cenizas para Lubricantes . . . . .</i>	<i>46</i>
<i>Nuevos Inhibidores Orgánicos de la Corrosión Ayudan a Reemplazar a los Metales Pesados Tóxicos y a Reducir Las Emisiones de Disolventes. . . . .</i>	<i>71</i>
<b>Collins, Terry, Facultad de Química, Carnegie Mellon University</b>	
<i>*Activadores de oxidantes TAML: Activación General del Peróxido de Hidrógeno para Su uso en Química Verde . . . . .</i>	<i>3</i>
<b>Conexant Systems, Incorporated, ULVAC Technologies, Inc.</b>	
<i>Proceso Sin Disolventes para la Producción de Semiconductores. . . . .</i>	<i>81</i>
<b>Cussler, E.L., University of Minnesota</b>	
<i>Tintas Litográficas Que Previenen la Contaminación . . . . .</i>	<i>25</i>
<b>Departamento de Ecología del Estado de Washington</b>	
<i>La Iniciativa de Salud, Seguridad y Prevención de la Contaminación del Estado de Washington Aplicada en los Laboratorios Académicos de Química. . . . .</i>	<i>29</i>
<b>Dow AgroSciences LLC</b>	
<i>*Spinosa, Un Nuevo Producto Natural para el Control de Insectos . . . . .</i>	<i>7</i>
<b>Dow Corning Corporation</b>	
<i>Una Nueva Tecnología para Transformar Desechos en Productos Intermedios Valiosos. . . . .</i>	<i>72</i>
<i>Siloxanos de Metilo Volátiles: Sistemas de Disolventes Compatibles con el Medio Ambiente . . . . .</i>	<i>87</i>
<b>Dow Polymers LLC, Cargill Dow Polymers LLC</b>	
<i>Proceso Sin Disolvente para la Producción de Polímeros Biodegradables de Ácido láctico. . . . .</i>	<i>80</i>
<b>DuPont Company</b>	
<i>Reducción de Emisiones de Tetracloruro de Carbono en la Fuente Productora Mediante el Desarrollo de un Nuevo Catalizador . . . . .</i>	<i>78</i>
<b>Dynacs Engineering Co., Inc., Centro Espacial Kennedy</b>	
<i>Proyecto de Columnas Oxidantes de Lavado de Gases . . . . .</i>	<i>74</i>
<b>Eastman Kodak Company</b>	
<i>Minimización de las Emisiones al Medio Ambiente Mediante el Empleo de Diferentes Disolventes en Procesos de Fabricación. . . . .</i>	<i>67</i>
<b>E.I. duPont de Nemours &amp; Co., Inc.</b>	
<i>Procesamiento Fotográfico Sin Efluentes para la Industria de la Impresión . . . . .</i>	<i>88</i>



<b>Environmental Technology and Education Center, Inc. (ETEC)</b> <i>Refrigerantes de Bajo Impacto Ambiental y alta Eficiencia Energética . . . . .</i>	36
<b>Fish, Richard H., Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California</b> <i>Catálisis de dos Fases con Flúor: Un Nuevo Modelo para la Separación de Catalizadores Homogéneos de sus Sustratos y Productos de Reacción, como ha Quedado Demostrado en la Oxidación Química de Alcanos y Alquenos. . . . .</i>	17
<b>Freeman, Harold S., Profesor Ciba-Geigy de Química de los Tintes, North Carolina State University</b> <i>Tintes Sintéticos Sustentados por Consideraciones Toxicológicas . . . . .</i>	27
<b>The Geon Company</b> <i>Aumento de la Utilización de Materias Primas en la Producción del Monómero Cloruro de Vinilo . . . . .</i>	63
<b>Govind, Rakesh and Singh, Rajit, Facultad de Ingeniería Química, University of Cincinnati</b> <i>Conversión Biológica del Dióxido de Carbono en Materias Primas Orgánicas . . .</i>	10
<b>Hauser, Inc.</b> <i>Mejoras en el Proceso del Paclitaxel . . . . .</i>	39
<b>Hill, Craig L., Facultad de Química, Emory University y Weinstock, Ira A., Servicio Forestal USDA, Laboratorio de Productos Forestales</b> <i>Un Proceso Libre de Efluentes Que Utiliza Oxígeno en Lugar de Compuestos de Cloro en el Blanqueado de la Pulpa de Madera . . . . .</i>	14
<b>Ho, Nancy W.Y., Laboratorio de Ingeniería de Recursos Renovables, Purdue University</b> <i>El Desarrollo Exitoso de Microorganismos Diseñados Genéticamente, Libres de Riesgos y Fáciles de Usar para la Producción Eficaz de Compuestos Químicos Compatibles con el Medio Ambiente, a Partir de la Biomasa Renovable Mediante el Empleo de Metodologías de Química Verde . . . . .</i>	26
<b>Hudlicky, Tomas, Facultad de Química, University of Florida</b> <i>Hacia una Metodología de Síntesis "Sin Reactivos" y con Mayor "Rendimiento Efectivo de Masa" para Aplicaciones Farmacéuticas Mediante Oxidaciones y Reducciones Enzimáticas y Electroquímicas Secuenciales. . . . .</i>	27
<b>Imation Corporation</b> <i>Placas Sin Procesos de Imation . . . . .</i>	62
<b>IMC-Agrico Company</b> <i>AGROTAIN, Triamida N-(n-butil) Trifosfórica . . . . .</i>	44
<b>International Metalizing Corporation</b> <i>Productos Atóxicos Contra la Acumulación de la Suciedad y la Incrustación. . . . .</i>	39
<b>IonEdge Corporation</b> <i>Deposición Seca de Cadmio Sin Residuos . . . . .</i>	42
<b>Khalili, Nasrin R., Arastoopour, Hamid and Walhof, Laura, Facultad de Química e Ingeniería Ambiental, Illinois Institute of Technology</b> <i>Un Nuevo Enfoque Sobre la Minimización de la Producción de Desechos: La Producción de Catalizadores o Adsorbentes/Absorbentes a Base del Carbono Derivado de Sólidos Biológicos . . . . .</i>	24

<b>KM Limited Inc.</b>	
<i>El Módulo de Cómputo LCAPIX: La Evaluación del Ciclo de Vida Combinado con el Cálculo de Costos de Actividad para Ayudar a la Preservación del Medio Ambiente Mundial y al Crecimiento Económico Sostenido . . . . .</i>	<i>37</i>
<b>Knipple, Douglas C., Facultad de Entomología, Cornell University</b>	
<i>Síntesis In Vivo de Precursores de Feromonas de Lepidópteros en Saccharomyces Cerevisiae: Un Proceso Económico para la Producción de Productos Efectivos, Atóxicos y Ambientalmente Seguros en el Control de Insectos. . . . .</i>	<i>19</i>
<b>Laboratorio Nacional de Argonne</b>	
<i>Descubrimiento Importante para Motores Diesel no Contaminantes: Disminución Simultánea de la Emisión de Partículas y de Óxidos de Nitrógeno Durante la Combustión . . . . .</i>	<i>49</i>
<b>Laboratorios de Investigación de Ingeniería de la Construcción del Ejército de los EEUU</b>	
<i>Estabilización Química In Situ del Chorreado Abrasivo con Desechos de Pintura a Base de Plomo . . . . .</i>	<i>65</i>
<b>Ladisch, Michael R., Laboratorio de Ingeniería en Recursos Renovables y Facultad de Ingeniería Agrícola y Biológica, Purdue University</b>	
<i>Adsorbentes con Base Biológica para Enfriadores Desecantes . . . . .</i>	<i>9</i>
<b>Li, Chao-Jun, Facultad de Química, Tulane University</b>	
<i>El Agua como Disolvente de Síntesis Química y de Materiales . . . . .</i>	<i>31</i>
<b>Lilly Research Laboratories</b>	
<i>*Aplicación Práctica de un Biocatalizador en la Producción Farmacéutica. . . . .</i>	<i>5</i>
<b>Lin, Chhiu-Tsu, Facultad de Química y Bioquímica, Northern Illinois University</b>	
<i>Recubrimientos Fosfatantes In Situ, Sin Cromo, en un Paso . . . . .</i>	<i>12</i>
<b>The Lubrizol Corporation</b>	
<i>Polímero Antineblina AMPS® de Alta Durabilidad para Fluidos Acuáticos en el Procesamiento de Metales. . . . .</i>	<i>52</i>
<b>Lynd, Lee R., Facultad de Ingeniería, Dartmouth University</b>	
<i>La Superación de las Dificultades de Procesamiento de la Biomasa Celulósica y la Visualización del Papel de la Biomasa en un Mundo Sustentable . . . . .</i>	<i>25</i>
<b>M.A. Hanna Color—Technical Center</b>	
<i>Reducción de Emisiones de VOCs Mediante la Eliminación de las Operaciones de Pintado y Etiquetado, a Través del uso de un Nuevo Sistema Láser de Marcado a Color para Componentes de Plástico . . . . .</i>	<i>77</i>
<b>Mallinckrodt Inc.</b>	
<i>Eliminación de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) Mediante la Adición In Situ de Peróxido de Hidrógeno a un Proceso de Disolución de Metales. . . . .</i>	<i>79</i>
<b>Mallinckrodt Baker, Inc.</b>	
<i>La Eliminación del Sulfuro de Hidrógeno de las Sustancias No Precipitadas por la Prueba de H<sub>2</sub>S . . . . .</i>	<i>62</i>
<b>Mathews, Alexander P., Facultad de Ingeniería Civil, Kansas State University</b>	
<i>Empleo de Desechos de Biomasa para la Producción de un Descongelante Biodegradable para Carreteras . . . . .</i>	<i>30</i>

<b>Matyjaszewski, Krzysztof, Facultad de Química, Carnegie Mellon University</b>	
<i>Polimerización de Radicales con Transferencia Atómica . . . . .</i>	<i>9</i>
<b>Mobil Oil Corporation</b>	
<i>Uso de Disolventes en la Remoción de Ceras de los Lubricantes Mediante un Proceso de Separación con Membranas. . . . .</i>	<i>66</i>
<b>Moller, Gregory, Holm Research Center, University of Idaho</b>	
<i>Los Efectos de la Corrosión del Hierro Atómico Sobre la Contaminación de Metales Pesados Debido a la Oxidación de la Pirita . . . . .</i>	<i>13</i>
<b>Monsanto Company</b>	
<i>Modificación Metabólica de Cultivos para la Producción Comercial de Plásticos Biodegradables . . . . .</i>	<i>66</i>
<b>Morton International, Inc.</b>	
<i>Estabilizador Orgánico ADVAFLEX™. . . . .</i>	<i>44</i>
<b>Nalco Chemical Company</b>	
<i>Diseño de una Alternativa de Cloro Compatible con el Medio Ambiente (STABREX). . . . .</i>	<i>51</i>
<i>Polímeros Líquidos Ambientalmente Responsables . . . . .</i>	<i>58</i>
<i>*Polímeros Líquidos de Dispersión con Base Acuosa. . . . .</i>	<i>6</i>
<i>PORTA-FEED® de Nalco . . . . .</i>	<i>70</i>
<i>El Proceso NOxOUT® de Nalco Fuel Tech . . . . .</i>	<i>68</i>
<i>Tecnología LAZON de Nalco . . . . .</i>	<i>69</i>
<i>Tecnología para La Remoción de Metales Pesados NALMET® de Nalco . . . . .</i>	<i>69</i>
<i>Tecnología TRASAR® de Nalco . . . . .</i>	<i>70</i>
<b>Nassaralla, Claudia Lage, Facultad de Ingeniería Metalúrgica y de Materiales, Michigan Technological University</b>	
<i>Reducción de los Desechos y Reciclado del Refractario de Cromo-magnesita en el Proceso de Obtención del Acero. . . . .</i>	<i>30</i>
<b>National Risk Management Research Laboratory, Agencia de Protección Ambiental de los EEUU</b>	
<i>Oxigenación de Hidrocarburos con Fotocatálisis: Una Alternativa Verde . . . . .</i>	<i>74</i>
<i>Programa de Cómputo PARIS II para el Diseño de Disolventes. . . . .</i>	<i>76</i>
<b>Nextec Applications, Inc.</b>	
<i>Procesos Sin Disolventes para Mejorar las Propiedades de la Tela. . . . .</i>	<i>40</i>
<b>Nikles, David E., Facultad de Química, Universidad de Alabama</b>	
<i>Formulaciones con Base Acuosa para Revestimiento en la Manufactura de Cintas de Video . . . . .</i>	<i>32</i>
<b>Novon International</b>	
<i>Reciclado Natural de Plásticos Mediante la Degradación Química y Biológica . . .</i>	<i>38</i>
<b>Oficina de Grabado e Imprenta de los EEUU</b>	
<i>ISOMET: El Desarrollo de un Disolvente Alternativo . . . . .</i>	<i>65</i>

<b>Pacific Northwest National Laboratory</b> <i>Proceso Biocatalítico y Biomimético para la Síntesis de Compuestos Nitroaromáticos Intermedios y para la Destrucción de Nitrocompuestos, Inclusive los Explosivos. . . . .</i>	47
<b>Paquette, Leo A., Facultad de Química, Ohio State University</b> <i>Ventajas Ambientales Presentadas por las Reacciones de Formación de Enlaces Carbono-Carbono en Medio Acuoso Usando Indio Como Promotor . . . . .</i>	15
<b>Peretti, Steven W., Facultad de Ingeniería Química, North Carolina State University</b> <i>Avance en la Especificidad Posicional (Regiospecificity) y Minimización de la Formación de Productos Secundarios Mediante la Preparación Biosintética del p-Hidroxibenzoato . . . . .</i>	11
<b>PPG Industries, Inc.</b> <i>Reemplazo del Asbesto en el Proceso de Celdas de Diafragmas para la Fabricación de Cloro y Sosa Cáustica . . . . .</i>	79
<b>Radiance Services Company</b> <i>El Proceso Radiance: Un Avance Cuántico de la Química Verde. . . . .</i>	40
<b>Raghavan, Dharmaraj, Facultad de Química, Howard University</b> <i>Uso de Llantas Recicladas en el Diseño de Concreto Impregnado con Caucho . . . .</i>	13
<i>Nuevas Aplicaciones de un Polímero Compuesto Derivado de Materiales Renovables . . . . .</i>	22
<b>Revlon Consumer Products Corporation</b> <i>ENVIROGLUV™: Un Método para Decorar Vidrio Usando Tintas Curables con Radiación Compatibles con el Medio Ambiente . . . . .</i>	54
<b>Robbat, Albert Jr., Facultad de Química, Tufts University</b> <i>Cheminformatics: Un Programa de Cómputo más Rápido, Efectivo y Económico . .</i>	11
<b>Roche Colorado Corporation</b> <i>Un Proceso Nuevo y Eficiente para la Producción de Cytovene®, un Poderoso Agente Antiviral . . . . .</i>	73
<b>Rogers, Robin D., Profesor, Facultad de Química y Director, "Center for Green Manufacturing", The University of Alabama</b> <i>Ciencia y Tecnología Verdes de Separación: El uso de Polímeros Benignos para Reemplazar VOCs en Las Separaciones Cromatográficas Líquido/Líquido a Escala Industrial. . . . .</i>	18
<b>Rowe, H. Alan, Facultad de Química/Centro de Investigación de Materiales, Norfolk State University</b> <i>Nuevo Análisis de Azúcares Reductoras . . . . .</i>	21
<b>SaLUT Inc.</b> <i>Asfalto con Migajas de Caucho Modificado Químicamente . . . . .</i>	34
<b>Sequa Chemicals, Inc.</b> <i>Polímeros Injertados con Almidón Como Extendedores de Resinas Fenólicas . . . .</i>	82
<b>Servicio de Correos de los Estados Unidos</b> <i>Un Adhesivo Sensible a la Presión y Compatible con el Medio Ambiente . . . . .</i>	56

<b>Singh, Mono M., National Microscale Chemistry Center, Merrimack College</b> <i>El Centro Nacional de Química a Micro Escala: Líder en la Ejecución de la Tecnología de Micro Escala. . . . .</i>	21
<b>Solutia Inc.</b> <i>Gases del Efecto de Invernadero: Del Residuo al Producto . . . . .</i>	61
<b>Solvent Kleene Inc.</b> <i>Un Desengrasante Seguro que Trabaja tan Eficientemente Como el Tricloroetano y Supera a los Productos Acuosa . . . . .</i>	38
<b>Stepan Company</b> <i>Poliol "PA Lites" de Stepan Company . . . . .</i>	83
<i>Espuma Rígida de Poliuretano Stepanfoam® Esponjada con Agua, Libre de HCFCs y Compatible con el Medio Ambiente . . . . .</i>	84
<b>Stewart, Jon D., Facultad de Química, University of Florida</b> <i>Levadura de Panadería Modificada como Ejemplo de un Método de Incorporación de la Catálisis Biológica en las Fases Tempranas del Diseño de Procesos: Aplicación a la Oxidación Asimétrica Baeyer-Villiger . . . . .</i>	15
<b>Subramaniam, Bala, Facultad de Química e Ingeniería Petrolera, University of Kansas</b> <i>Un Nuevo Proceso de Alquilación del 1-butenolisobutano Catalizado por Ácido Sólido . . . . .</i>	23
<b>Supratech Systems Inc.</b> <i>Placa "Flexceed" de Fotopolímero Flexo Lavable con Agua y Su Propio Sistema de Lavado . . . . .</i>	88
<b>Synovec, Robert E., Facultad de Química, University of Washington</b> <i>Tecnologías Novedosas de Análisis Químico de Alta Velocidad Utilizando Cromatografía Líquida Acuosa, Espectroscopia Raman y Cromatografía de Gases . . . . .</i>	22
<b>Synthon Corporation</b> <i>Desarrollo y Comercialización de Productos Químicos Intermedios de Alto Valor a Partir del Almidón y la Lactosa . . . . .</i>	34
<b>Tanko, James M., Facultad de Química, Virginia Polytechnic Institute and State University</b> <i>Química Verde por Medio del Uso de Fluidos Supercríticos y Radicales Libres. . . . .</i>	18
<b>TechMatch, Incorporated</b> <i>Óxido de N-metilmorfolina-N (NMMO): Un Disolvente Novedoso y Atóxico de la Celulosa para Reducir la Fuente Productora en la Elaboración de Fibras Textiles. . . . .</i>	37
<b>Tektronix, Inc.</b> <i>Diseño de Compuestos Químicos Más Seguros: Tinta Spitfire . . . . .</i>	51
<b>Thompson, Stephen, Centro para la Educación en Ciencias, Matemáticas y Tecnología, Colorado State University</b> <i>Química de Pequeña Escala: La Prevención de la Contaminación en los Programas de Instrucción de Química Inorgánica . . . . .</i>	25
<b>Union Carbide Corporation</b> <i>Agentes Tensioactivos Fragmentables . . . . .</i>	82

<b>Varma, Rajender S., Instituto Regional de Estudios Ambientales de Texas, Sam Houston State University</b> <i>Síntesis Química Sin Disolventes. . . . .</i>	26
<b>Viasystems Technology Corporation</b> <i>Proyecto Ambiental de Reducción de Desechos de Soldadura. . . . .</i>	79
<b>Warner, John C., Facultad de Química, University of Massachusetts, Boston</b> <b>Polaroid Corporation</b> <i>Montajes Supramoleculares de Hidroquinonas Ambientalmente Benignos en la Fotografía Polaroid de Revelado Instantáneo. . . . .</i>	16
<b>Weimer, Alan W., Facultad de Ingeniería Química, University of Colorado</b> <i>Proceso de Nitruración por Combustión en Cama Fluidificada Vibratoria Mediante el Uso de Energía Solar Concentrada . . . . .</i>	28
<b>Wong, Chi-Huey, Ernest W. Hahn Profesor de Química, The Scripps Research Institute</b> <i>Enzimas en Síntesis Orgánica a Gran Escala . . . . .</i>	16
<b>Wool, Richard P., University of Delaware</b> <i>Materiales Compuestos Económicos Partiendo de Recursos Renovables (ACRES) . . .</i>	9
<b>Zyvax Incorporated</b> <i>El "Watershield" de Zyvax como Agente de Desmolde . . . . .</i>	43





U.S. Environmental Protection Agency  
1200 Pennsylvania Ave., NW. (7406)  
Washington, DC 20460

Para Uso Exclusivamente Oficial  
Multa de \$300 por Uso Privado