

Aplicación de la tecnología de las radiaciones en los procesos industriales

Situación actual y perspectivas futuras

por Joseph Silverman, Laboratory for Radiation and Polymer Science, Universidad de Maryland, Estados Unidos de América*

La mención de empresas, de sus productos o de sus marcas comerciales no implica ninguna aprobación ni recomendación por parte del Organismo Internacional de Energía Atómica.

El desarrollo de la energía nucleoelectrónica ha originado muchos subproductos, entre ellos los productos de fisión radiactivos. A fines de los años cuarenta y comienzos de los cincuenta se desplegaron grandes esfuerzos para establecer procesos industriales que permitiesen utilizar los productos de fisión en grandes cantidades. Aunque hoy día se empleen algunos de estos productos, la escala en que esto sucede dista de alcanzar las cantidades que se producirán en una economía nuclear. Sin embargo, esas tentativas no han sido un fracaso y las investigaciones para crear procesos industriales han abierto mercados, no para los productos de fisión como se había esperado, sino para el cobalto-60, radioisótopo producido por captura neutrónica en un reactor nuclear, y para los aceleradores — máquinas que producen radiaciones de manera controlada. Es posible que a la larga se consiga hallar aplicaciones para los principales productos de fisión, pues prosiguen las investigaciones en radioquímica y radiobiología.

El empleo de las radiaciones en procesos industriales está ahora en vigorosa expansión debido al gran aumento de la fiabilidad de los generadores de haces electrónicos, a la considerable reducción del costo unitario de la potencia y energía del haz electrónico, a los grandes progresos en radioquímica por los que ha sido posible reducir las dosis necesarias, y al aumento de los conocimientos técnicos y de la experiencia práctica.

Las principales razones para asegurar este futuro brillante son que se esperan nuevas y fuertes disminuciones del costo unitario de la energía del haz electrónico, y que recientemente se han empleado con éxito las radiaciones en gran escala para la reticulación de material aislante de cable telefónico en los Estados Unidos.

SITUACION ACTUAL

Hoy día están en explotación industrial corriente más de un centenar de generadores de haces electrónicos y unos 30 sistemas de cobalto-60. El valor mercantil de los productos tratados u obtenidos por técnicas basadas en las radiaciones ionizantes es muy superior a los 200 000 000 de dólares anuales. Pasemos revista brevemente:

* Este artículo se basa en una disertación pronunciada ante la Nordic Society for Radiation Research and Radiation Technology de Helsinki (Finlandia).

RADIOESTERILIZACION DE MATERIAL BIOLÓGICO Y MÉDICO NO

REUTILIZABLE — Es la aplicación industrial más antigua. Se utilizó por primera vez con éxito en 1956, cuando las máquinas costaban 25 000 dólares por kW y la energía del haz electrónico hasta 50 dólares por kWh. El elevado costo unitario de la energía se debía en gran parte a la baja fiabilidad de los aceleradores van de Graff, de 3 MeV, y de los aceleradores lineales de 4 MeV usados al principio en la industria. Sin embargo, a pesar del excesivo costo de la energía, los productos presentaban por su envase y comodidad para los usuarios tales ventajas que consiguieron conquistar el 80% del mercado, no obstante su elevado precio. Ethico, la primera firma comercial activa en este campo en los Estados Unidos, y la casa matriz Johnson & Johnson, recurrieron pronto a las fuentes gamma, que permitían técnicas más seguras de empleo de las radiaciones. Desde entonces, los progresos conseguidos en Risó en materia de radioesterilización por medio de aceleradores lineales, el éxito con que la industria viene prestando servicios eficaces de radioesterilización con estos aceleradores, y las mejoras de tipo tecnológico y económico que en ellos se han introducido, son factores todos que parecen indicar que toca a su fin el papel del cobalto-60 como principal medio de radioesterilización.

RADIORRETICULACION DE POLIMEROS — Es con mucho la aplicación de las radiaciones que más éxito ha tenido. La radiorreticulación de poliolefinas para aislamiento de cables y conectores termocontraíbles se consiguió por primera vez en escala industrial por Raychem con los viejos transformadores de resonancia de la General Electric. Aproximadamente en la misma época y con la misma máquina, W.R. Grace logró su primera película termocontraíble Cryovac Tipo L. Las dosis necesarias para obtener las modificaciones deseadas han disminuido desde entonces en un 50% como mínimo en ambos casos, y el costo de la energía del haz electrónico se ha reducido en 90%.

Con respecto a los hilos y cables, casi todos los principales fabricantes de productos que llevan polietileno o cloruro de polivinilo radiorreticulados, ofrecen un artículo irradiado en su catálogo. El mercado es bastante grande, pues incluso una firma suministra hoy día polvo de moldeo de cloruro de polivinilo especialmente preparado para su radiorreticulación. La Western Electric Company ha empezado a producir cable telefónico en gran escala utilizando una técnica de radiorreticulación; más adelante se hará referencia a la misma.

En los últimos cinco años otros dos procesos de reticulación han pasado a primer plano: la radiovulcanización de hojas de caucho y la radiorreticulación de hojas de polietileno alveolar. El primer proceso lo emplea Firestone en los Estados Unidos, y el segundo es fruto de la inventiva de Sekisui Chemical Co. y Toray Products Co. del Japón, y de Expanded Rubber Products del Reino Unido. El actual ritmo de producción en el Japón es de 5 000 toneladas anuales, correspondiendo dos tercios, aproximadamente, de las ventas a Sekisui. Sekisui está duplicando su capacidad de radiotratamiento a fin de fabricar y comercializar el producto en los Estados Unidos y en Europa.

El producto irradiado es muy superior al polietileno alveolar no reticulado. Este último posee una estructura porosa desigual y relativamente abierta, una superficie irregular, y su empleo está limitado a temperaturas inferiores a 75°C. El artículo irradiado, incluso cuando su volumen se ha dilatado 30 veces, presenta una superficie regular, sus poros son uniformes y cerrados, y su elasticidad y recuperación son buenas. Se vende para su empleo como revestimiento amortiguador de choques en los automóviles Toyota, como forro del portaequipajes de los Datsun y de los cascos protectores de ciclistas, para su uso en juguetes, equipo de camping, esteras, y para su empleo como material de relleno y refuerzo en prendas femeninas. Puede laminarse en combinación con otros materiales y una de sus aplicaciones prometedoras, aunque secundaria, es su laminación con madera para obtener

solados amortiguadores de ruidos; puede cementarse directamente sobre un suelo de hormigón.

Otro material de algún interés es el caucho natural prevulcanizado. Después de trabajar los últimos diez años en este proceso, científicos franceses han conseguido un producto denominado Precurtex. Se obtiene por irradiación gamma o electrónica del látex en bajas dosis. Los moldes finales se consiguen con el equipo existente por evaporación del suero a 70°C. El proceso tradicional requiere temperaturas más altas y la adición de agentes vulcanizantes y acelerantes.

TEJIDOS INARRUGABLES — Deering-Milliken (Estados Unidos), que empezó en 1966 a fabricar tejidos de algodón de este tipo, produce hoy día, por el método de los injertos radioinducidos, más de 50 000 000 de metros anuales de VISA, tejido de poliéster-algodón. Se trata de un género inarrugable con excelentes propiedades de desprendimiento de la suciedad. Se vende principalmente a fabricantes de uniformes, monos, etc. cuyos clientes utilizan los servicios de lavanderías comerciales (hoteles, garajes, etc.). El producto se obtiene impregnando el tejido con un monómero vinílico que contiene un grupo metilol y, a continuación, el tejido húmedo se somete a irradiación electrónica. Después se impregna con el agente antisuciedad, probablemente un prepolímero compuesto de ácido acrílico y metacrílico. La irradiación deja un número suficiente de puntos activos de injerto, de modo que el prepolímero se "prende" químicamente al tejido. Este se envía al fabricante que confecciona las prendas. La prenda acabada se hace inarrugable planchándola a 165°C durante 12 minutos. La reacción de condensación entre el grupo metilol y la fibra produce la reticulación necesaria. Otra ventaja estriba en la reducción de los efluentes residuales de la planta, puesto que no se requiere ningún tratamiento catalizado con cloruro de zinc, como en los procesos tradicionales de planchado permanente.

REVESTIMIENTOS CURADOS POR IRRADIACION — Casi todos los tableros de instrumentos fabricados por la Ford Motor Company en los Estados Unidos pasan por una máquina de revestimiento por pulverización electrostática y son curados por haz electrónico. Otras piezas de los automóviles son sometidas al mismo tratamiento en gran escala y se espera que pronto aumentará su número. A pesar del éxito de Ford en producir un sustitutivo excelente y barato de las correspondientes piezas metálicas, esta experiencia no ha sido seguida con fruto por otros.

Sin embargo, se observa a partir de 1973 un cambio perceptible. Se está proyectando una planta en Suiza y otra en los Estados Unidos con una capacidad de casi 10 000 000 de metros cuadrados anuales de chapa de madera revestida y se han discutido planes en 1973 para construir otras dos plantas en Europa productoras de revestimientos curados por irradiación.

Esta reavivación del interés parece obedecer a los problemas de contaminación asociados con los revestimientos curados por vía térmica. El curado por rayos ultravioleta ha demostrado ser un temible rival en el caso de los revestimientos tenues y claros. Pero tratándose de revestimientos muy pigmentados o espesos, es posible que las ventajas de los electrones sean decisivas.

MADERAS PLASTIFICADAS — A los efectos prácticos hay un solo fabricante, Arco Chemical en los Estados Unidos, y un solo producto, los solados de parqué. Esta compañía fabrica unos 300 000 metros cuadrados anuales y está aumentando su potencial de ⁶⁰Co. Así pues, Arco Chemical trabaja con éxito, en escala modesta pero creciente, en el único proceso importante de irradiación gamma cuya naturaleza no es biológica, pero son muy escasos los indicios de que otras empresas industriales se interesen por esta técnica.

RADIODEGRADACION — Hace unos cinco años, la Union Carbide Corporation decidió poner en venta óxido de polietileno para una amplia gama de aplicaciones, lo que a su vez requería una gran variedad de pesos moleculares. En vez de regular las condiciones del proceso de forma que se consiguiese el peso molecular necesario para cada aplicación, la UCC se decidió por un producto de elevado peso molecular, obtenido en condiciones constantes de fabricación, que se pudiese degradar con pocos gastos para satisfacer las necesidades de los distintos clientes. Como medio de degradación debía servir una reacción en cadena inducida por rayos gamma en presencia de oxígeno. Se ha proyectado y empezado a construir una instalación especial de irradiación, pero la planta no había entrado todavía en servicio en 1973, ya que aún no había surgido un mercado para este producto.

La radiodegradación es aplicada con éxito por la Columbia Research Corporation, empresa que presta servicios en el campo de los haces electrónicos. Degrada, por irradiación electrónica en aire, desechos de polvo de politetrafluoroetileno (PTFE) para moldeo. El producto se utiliza en pulverizaciones lubricantes. La cifra de negocios es sorprendente por su magnitud; casi todos los fabricantes de PTFE hacen pasar sus desechos por el haz de la Columbia. De todas formas, la aplicación es aún de poco volumen.

Más importante es la posibilidad de aplicar con éxito el sistema de fabricación y degradación ideado por la UCC a la tecnología del polipropileno, en cuyo caso el volumen de ventas es grande. Creo que esta posibilidad merece una consideración detallada que no ha recibido aún.

Está en marcha otro proyecto relativo a la radiodegradación, a saber, la irradiación electrónica de viruta de madera antes de su almacenamiento y subsiguiente transformación en pasta de madera. Es un hecho bien conocido que las radiaciones ionizantes matan los insectos, hongos y bacterias, y degradan también la madera. Por tanto, la irradiación de la viruta debe retardar su descomposición y reducir la energía necesaria para la transformación en pasta. Cuando el costo de la energía requerida para conseguir estas ventajas sea inferior a los beneficios pecunarios resultantes, las radiaciones se transformarán en un instrumento ventajoso y práctico en las fábricas de pasta de madera. La firma Radiation Development Co. Ltd. (Canadá) ha instalado dos aceleradores en la fábrica de contrachapados de Georgia-Pacific, cercanías de Albany (Oregón), y trata más del 10% de la producción. De momento la Georgia-Pacific ha rechazado el proceso RDCL ya que los resultados de laboratorio no se han podido reproducir en fábrica. Si este proceso se perfecciona, unas 2 000 fábricas de pasta de madera en todo el mundo podrían convertirse en usuarios de una aplicación de las radiaciones que sería la mayor cualquiera que fuese la escala con que se midiese (volumen de producción, kilowatios y valor del producto).

SINTESIS QUIMICA — En este terreno son muchas las decepciones que han sufrido los que se interesan por el desarrollo del empleo de las radiaciones en los procesos industriales. Aparte la producción de unas 1 000 toneladas anuales de bromuro etílico por la Dow Chemical Company, ninguna de las síntesis químicas propuestas con ayuda de radiaciones ha alcanzado la escala industrial. Una novedad reciente permite prever una evolución favorable. Está en construcción una planta en el Japón para producir un prepolímero que será el principal componente de una pintura. (No hay que confundir esto con el curado de la pintura por haz electrónico.). Este componente se obtiene mediante una reacción inducida por irradiación electrónica; las pinturas que lo contienen pueden curarse por vía térmica, rayos ultravioleta o irradiación.

Estas piezas de madera son tratadas por irradiación en el Centre d'Application des Rayonnements Ionisants CAPRI en Francia. Fotos: Pierre Jahan.



TRATAMIENTOS DIVERSOS — La mayoría de las aplicaciones descritas suponen volúmenes relativamente bajos de producción. Hay otras aplicaciones practicadas en una escala más pequeña todavía. Por ejemplo, los separadores de batería producidos por injerto radioinducido, un laminado de hoja metálica y una película compuesta de polietileno y un injerto de ácido acrílico, sujetadores radiorreticulados que se dilatan con el calor, perlas y cuarzo irradiados para joyería, etc. Estos productos han conseguido cierto éxito por la inventiva e iniciativa comercial que suponen, pero no es probable que ninguno de ellos llegue a influir en el campo de que tratamos.

WESTERN ELECTRIC — Al pasar revista a la serie de productos y procesos, se ve que casi todas las aplicaciones realmente industriales son relativamente antiguas y bien conocidas. Hasta ahora podía creerse que tardarían bastante en nacer nuevas aplicaciones industriales, debido a la situación técnica y económica y al estado de ánimo de los empresarios. Esta conclusión parece hoy día demasiado pesimista.

Las principales razones para este cambio de opinión estriban en las recientes decisiones e iniciativas de la Western Electric Co., compañía fabril de la American Telephone and Telegraph Co. En 1973 Western Electric empezó a fabricar cable telefónico con aislamiento de cloruro de polivinilo (CPV) radiorreticulado, a un ritmo de $2,7 \times 10^9$ metros anuales. Se han encargado dos nuevas líneas de producción que, una vez instaladas, permitirán alcanzar un volumen de 8×10^9 metros anuales. El nuevo producto sustituye a otro antiguo, formado por un hilo de cobre con aislamiento de PVC, una camisa de tejido y un revestimiento de barniz. El nuevo está constituido por un hilo de cobre con revestimiento de CPV-TEGDMA* reticulado por irradiación electrónica. Esto le da buenas propiedades eléctricas así como una gran resistencia al calor de los soldadores, a la abrasión, a los solventes y al fuego. El material irradiado es extruido fácilmente y la supresión del barniz reduce los problemas de contaminación. El producto se utiliza en centrales telefónicas obteniéndose una reducción de casi 70% en superficie ocupada. Esta economía por si sola justificaría el proceso. Pero, incluso prescindiendo de ella, se calcula que el mismo ha permitido ahorrar 4 000 000 de dólares en los siete primeros meses de su empleo.

La aplicación en gran escala de este radiotratamiento por la Western Electric demuestra que:

- 1) hay generadores de haces electrónicos que pueden funcionar con un grado de fiabilidad comparable a la de dos extrusores para plásticos;
- 2) se conocen bastante bien los problemas prácticos de ingeniería de las radiaciones que plantea el empleo corriente de esas máquinas;
- 3) el costo de la energía del haz electrónico es bajo;
- 4) los efectos químicos de las radiaciones, combinadas con el uso de agentes de reticulación, permiten grandes reducciones de las dosis necesarias. Además, esos agentes dan al producto algunas de sus más importantes propiedades mecánicas.

El éxito en la aplicación de este proceso posiblemente anime a la dirección de otras compañías industriales a contemplar el empleo de radiaciones como una solución razonable frente a otros métodos rivales cuando las consideraciones relativas a los costos sean favorables. Hasta ahora, las ventajas económicas basadas en el supuesto de que el empleo de radiaciones es una operación industrial corriente han sido una condición necesaria, pero no suficiente.

* Tetraetilenoglicol dimetacrilato.

EL FUTURO

Además de las innovaciones conseguidas por la Western Electric, hay otros dos fenómenos que pueden ejercer una influencia profunda sobre el futuro de las radiaciones en los procesos industriales: la tendencia de los costos y los problemas del medio ambiente.

El costo de un generador de haz electrónico suele ser inferior a 4 000 dólares por kW y es previsible un costo de 2 000 dólares. Un fabricante de aceleradores asegura que la energía electrónica puede producirse a un costo de 0,25 por kWh; otro estima que los costos con las actuales máquinas son incluso de 0,20 dólares por kWh. Ambas evaluaciones son para máquinas de alta potencia, funcionando en dos turnos y con una vida útil de diez años.

Los cálculos de costos hechos por los fabricantes de aceleradores se han tomado siempre con reservas. Esta actitud prudente suele estar justificada, pero las mejoras de construcción y rendimiento han seguido de cerca esas afirmaciones optimistas e incluso es posible que pronto las alcancen.

PROBLEMAS DEL MEDIO AMBIENTE

Según una reciente propuesta, hecha en los Estados Unidos, de construir una planta de irradiación de lodos diluidos de aguas negras con dosis de 0,1 Mrad para conseguir un control de los colibacilos equivalente al alcanzado por cloración, es posible un costo de irradiación de 0,10 dólares por kWh de energía absorbida del haz. Esta propuesta abre el camino al empleo de las radiaciones para resolver problemas del medio ambiente. Se han señalado ya dos tipos de aplicaciones de esta categoría: sustitución de una técnica clásica contaminante por otra basada en las radiaciones pero no contaminante; empleo de las radiaciones ionizantes para eliminar contaminantes. Como ejemplo de la primera cabe citar el curado electrónico de pinturas en lugar del curado por vía térmica; el tratamiento de las aguas negras y desechos industriales es un ejemplo de la segunda.

El empleo de las radiaciones para tratar los residuos de origen humano tiene una historia larga pero poco brillante. Muchos de los trabajos dados a conocer se han efectuado deficientemente y algunas de las afirmaciones más atrevidas son difíciles de aceptar. Baste decir que las radiaciones pueden aniquilar la microflora e incluso (con ciertas dificultades) los virus, pero es difícil saber cuáles son las dosis mínimas necesarias para dañar lo suficientemente los organismos microscópicos, a fin de realizar los cálculos de ingeniería precisos. Está en construcción una planta piloto para la irradiación de lodos diluidos en las cercanías de Munich (República Federal de Alemania); es de esperar que se obtendrán datos útiles*.

Se ha sugerido la irradiación de los efluentes de plantas textiles a fin de destruir los colorantes disueltos. La irradiación hace incolores los colorantes en condiciones especiales de pH y concentración de oxidantes. Lo mismo ocurre con los efluentes industriales que contienen vestigios de fenoles o cianuros. Una de las aplicaciones más interesantes propuestas en los últimos años es la irradiación de los gases residuales de las centrales eléctricas a fin de transformar el SO_2 en un aerosol o en una suspensión de H_2SO_4 que quedaría atrapada en el precipitador. Los resultados preliminares son muy alentadores. El trabajo, que se efectúa actualmente en el Laboratorio Takasaki del Instituto Japonés de Energía Atómica, en colaboración con Ebara Industrial Co., ha despertado gran interés.

Es posible que las consideraciones relativas al medio ambiente pasen a ser el factor predominante al determinar el papel que han de desempeñar las radiaciones ionizantes en

* Del 17 al 21 de marzo de 1975 se celebrará en Munich un Simposio internacional sobre el "Empleo de radiaciones de alta intensidad en el tratamiento de desechos: situación actual y perspectivas".

nuestro mundo industrializado. La energía requerida para el curado electrónico de revestimientos es el 7% de la necesaria por vía térmica. La energía precisada para esterilizar con electrones o rayos gamma los alimentos es mucho menor que la requerida utilizando el calor. Al aumentar la competencia para conseguir combustibles limpios, el costo de la energía es posible que sea el elemento esencial. Es preciso un análisis detallado de todos los gastos relativos a la energía a fin de determinar si resultará ventajoso para nuestra sociedad esforzarse en conservar la energía gracias a la sustitución generalizada de los procesos térmicos por los de haz electrónico. Quiero terminar con este reto.

El futuro aparece brillante y esperanzador. El presente no es demasiado malo tampoco. El momento es oportuno.

El fenómeno de Oklo

Por Roger Naudet*

Tema de un Simposio internacional del OIEA que se celebrará del 23 al 27 de junio de 1975

En el verano de 1972, los investigadores del Commissariat à l'énergie atomique de Francia hicieron un descubrimiento sorprendente: en una época muy remota se habían iniciado espontáneamente reacciones en cadena de fisión en un yacimiento de uranio del Gabón; durante centenas de millares de años, ciertas partes de este yacimiento habían funcionado lo mismo que nuestros modernos reactores nucleares. Los estudios realizados posteriormente revelaron que los lugares en que se produjeron las reacciones habían permanecido en un estado de notable conservación, lo que permitía su examen detallado.

El OIEA, estimando que el fenómeno de Oklo puede constituir un tema excelente para la cooperación internacional en la investigación básica, ha aceptado la propuesta formulada por el Gobierno del Gabón y el Commissariat à l'énergie atomique de Francia de organizar conjuntamente un simposio sobre esta cuestión. Este simposio se celebrará en Libreville (Gabón) del 23 al 27 de junio de 1975.

Es sabido que de los dos principales isótopos del uranio que poseen radiactividad natural, el ^{235}U tiene un período de semidesintegración más corto que el ^{238}U (de $7,1 \times 10^8$ años frente a $4,51 \times 10^9$ años). Por ello, la concentración del ^{235}U en el uranio decrece constantemente con el tiempo; en edades geológicas muy remotas era mucho mayor que ahora (3,65% hace dos mil millones de años frente a 0,72% actualmente).

UN REACTOR NUCLEAR "FOSILIZADO"

Por ello, hace bastante tiempo que se sugirió la idea de que las reacciones de fisión en cadena podríán haberse iniciado espontáneamente en yacimientos de uranio en una época muy remota, siempre que se diesen ciertas condiciones: concentraciones elevadas de uranio,

* El Sr. Roger Naudet es jefe del proyecto "Franceville". Trabaja en el Departamento de Física de Reactores y Matemáticas Aplicadas del C.E.N., en Saclay.