

## ¿Qué es la ingeniería química?\*

La ingeniería química tiene un pasado muy rico y un brillante futuro. En escasamente un siglo, quienes la ejercen han creado la mayor parte de la infraestructura tecnológica de la sociedad moderna. Sin su contribución, industrias tan diversas como la petroquímica, la farmacéutica, la alimentaria, la textil y la química no existirían tal y como las conocemos actualmente. Durante los próximos 10 o 15 años, la ingeniería química evolucionará hasta afrontar los retos de un amplio campo de disciplinas intelectuales y escalas físicas (desde la escala molecular hasta la planetaria). Los ingenieros químicos, debido a sus fuertes lazos con la ciencia molecular, serán los "investigadores de interfase", que entrelazarán la ciencia y la ingeniería en el ambiente multidisciplinario donde surgirá un receptáculo de la nueva tecnología.

Imagine un mundo donde la penicilina y los antibióticos sean mucho más escasos y costosos que los diamantes más finos. Imagine a países agobiados por el hambre, mientras que la disminución en el abasto de granos naturales y salitre ocasionan una gran escasez de fertilizantes. Imagine hospitales y clínicas donde la diálisis del riñón es tan riesgosa y tan incierta a largo plazo como el programa actual de trasplante de corazón artificial. Imagine que forma parte del cuerpo policiaco y del ejército, sin la protección de un chaleco ligero antibalas. Imagine

su armario sin ropa de "lavar y usar" o su casa sin alfombras sintéticas, durables, fáciles de limpiar y contra la polilla. Imagine ciudades ahogadas por el humo y el hollín de millones de estufas de carbón y de millones de automóviles sin control de emisión. Imagine una "sociedad de la informática" que trata de funcionar con bulbos al vacío y núcleos de ferrita como centros de almacenamiento de información para el procesamiento de datos. Imagine tener que pagar 25 dólares o más por un galón de gasolina —si es que lo puede pagar—. Ese mundo, donde a muy pocos de nosotros nos gustaría vivir, es el que existiría sin la ingeniería química.

Los ingenieros químicos han hecho contribuciones tan importantes a la sociedad, que es difícil visualizar la vida moderna sin grandes volúmenes de producción de antibióticos, fertilizantes y productos químicos para la agricultura, polímeros especiales para aparatos biomédicos, materiales poliméricos de alta resistencia, así como fibras y telas sintéticas. ¿Cómo podrían funcionar nuestras industrias sin tecnología para el control ambiental; sin procesos para elaborar semiconductores, discos magnéticos y cintas; sin dispositivos para el almacenamiento óptico de la información; y sin los procesos modernos de la petroquímica? Toda esta tecnología requiere de la habilidad necesaria para elaborar productos químicos

(\*) Texto tomado de *Frontiers in Chemical Engineering. Research needs and opportunities*, de N.R. Amundson *et al*, Committee on Chemical Engineering Frontiers, National Academy Press, Washington, DC, 1988.

*Educación Química* agradece la traducción de Lucía Alvarez y la corrección idiomática de Agueda Saavedra, del Departamento de Idiomas de la Facultad de Química, UNAM.

diseñados especialmente —y los materiales apoyados en ellos— de manera económica y con una repercusión mínima de desventaja sobre el medio ambiente. Desarrollar esta habilidad y ponerla en marcha en la práctica, es precisamente de lo que se encarga la ingeniería química.

Los productos que dependen de la ingeniería química surgen de diversas industrias, que juegan un papel principal dentro de nuestra economía (Tabla 2.1) Estas industrias producen la mayoría de los materiales a partir de los cuales se elaboran los productos de consumo; asimismo, generan la fabricación de los productos básicos de alto consumo que constituyen nuestra forma de vida. En 1986, tales industrias embarcaron productos valuados aproximadamente en 585 mil millones de dólares. Tenían una nómina de 3.3 millones de empleados, o sea, 17.5 por ciento del total de los empleados de la industria americana de la fabricación. En 1985 se generaron más de 217 mil millones de dólares en valor agregado, o sea 21.7 por ciento de la totalidad de los productos fabricados en los Estados Unidos. La producción química de la Industria Americana de Procesos Químicos (CPI) la convierte en una de las de mayor éxito dentro de la competencia mundial, ya que en 1986 originó una sobreproducción para exportar 7.8 mil millones de dólares, en contraposición con el déficit total del comercio de Estados Unidos, que fue de 152 mil millones de dólares.

Pero la industria química es más que un conjunto de industrias básicas o un cúmulo de estadísticas económicas. Como disciplina intelectual, está profundamente vinculada con la investigación aplicada y con la investigación básica. Los ingenieros químicos asocian un conjunto específico de técnicas y métodos para el estudio y solución de algunos de los problemas más apremiantes de la sociedad.

**Tabla 2.1 Las industrias procesadoras de productos químicos de los Estados Unidos (a)**

Industria (b)	Número de empleados (miles)	Valor de embarque (millones de dólares)	Valor agregado por manufactura (millones de dólares)
Alimentos y bebidas	378	73 633	24 370
Textiles	99	7 649	2 897
Papel	322	51 145	19 871
Productos químicos	1 023	197 932	95 258
Petróleo	169	129 365	17 112
Hule y plásticos	340	31 078	15 390
Piedra, arcilla y vidrio	354	34 372	17 449
Metales no ferrosos	49	21 920	524
Otros no percederos	577	37 594	24 291
<b>TOTAL</b>	<b>3 321</b>	<b>584 689</b>	<b>217 161</b>
Participación de las industrias procesadoras de productos químicos en el total manufacturero	17.5%	25.7%	21.7%

a) Los datos referentes a número de empleados y valor de embarque corresponden a 1986. Los de valor agregado en la fabricación corresponden a 1985.

(b) La definición de las industrias de procesos químicos, CPI (Chemical Processing Industries), que se usa en esta tabla, es la misma que utiliza *Data Resources and Chemical Engineering* en su recopilación estadística de estas industrias. Para algunas de ellas únicamente se tomaron en cuenta los datos referentes a la CPI.

### Paradigmas tradicionales de la ingeniería química

Toda disciplina científica tiene su propio conjunto de problemas y los métodos sistemáticos para solucionarlos, esto es, su paradigma. La ingeniería química no es una excepción. Desde su origen, en el último siglo, su marco teórico ha sufrido una serie de cambios decisivos.

Cuando en 1888 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) inició un programa de ingeniería química, como una de las opciones ofrecidas por su Departamento de Química, el currículo describía ampliamente las operaciones industriales y se organizaba por productos específicos. La falta de un paradigma se hizo entonces evidente. Se requería de una mejor fundamentación intelectual, porque el conocimiento de una industria química difería con frecuencia en detalle, con respecto al conocimiento de otras industrias, de la misma manera que la química del ácido sulfúrico difiere de la del aceite lubricante.

### Operaciones unitarias

El primer paradigma para esta disciplina se basó en el concepto unificador de "operaciones unitarias", propuesto por Arthur D. Little en 1915. Este concepto evolucionó como respuesta a la necesidad de fabricación económica, en gran escala, de productos de alto consumo. El concepto de operaciones unitarias sostenía que cualquier proceso de fabricación química podía resolverse dentro de operaciones coordinadas en serie, tales como pulverización, deshidratación, tostado, cristalización, filtración, evaporación, destilación, electrolización, etcétera. Así pues, por ejemplo, el estudio académico de aspectos específicos de la fabricación del aguarrás podía ser remplazado por el estudio genérico de la destilación, proceso común para muchas otras industrias.

Una forma cuantitativa del concepto de operaciones unitarias se originó hacia 1920, simultáneamente con la primera crisis nacional de la gasolina. El incremento acelerado de automóviles estaba forzando severamente la capacidad de producción de gasolina natural. La habilidad de los ingenieros químicos para caracterizar cuantitativamente las operaciones unitarias, tales como la destilación, permitieron el diseño racional de las primeras refinerías modernas de petróleo. Se inicia así la primera explosión de la demanda de empleo de ingenieros químicos en la industria petrolera.

Durante este periodo de intenso desarrollo de las operaciones unitarias, se introdujeron o desarrollaron intensivamente otras técnicas ingenieriles de análisis. Estas incluían estudios de los balances de materia y energía de los procesos, y estudios básicos de la termodinámica de sistemas multicomponentes.

Asimismo, los ingenieros químicos jugaron un papel importante al ayudar a los Estados Unidos y sus aliados para ganar la segunda guerra mundial. Fueron ellos quienes abrieron nuevos caminos, que se habían perdido a favor de los japoneses a principios de la guerra, para remplazar el hule natural por hule sintético. Ellos proporcionaron el uranio-235, indispensable para construir la bomba atómica, escalando así un paso más, pues pasaron del laboratorio a la edificación de la planta industrial más grande construida hasta entonces. Fueron, también, quienes perfeccionaron la fabricación de la penicilina, que salvó las vidas de cientos de soldados. Tal contribu-

ción muestra la complejidad alcanzada por la ingeniería química en los años cuarenta.

La penicilina fue descubierta antes de la segunda guerra, pero sólo se podía preparar en soluciones muy diluidas, impuras e inestables. Hasta 1943, cuando los ingenieros químicos se interesaron por primera vez en el proyecto, los productores industriales usaron un proceso de purificación por lotes, que destruía o inactivaba aproximadamente dos tercios de la penicilina producida. Después de siete meses al servicio de la Shell Development Company, un grupo de ingenieros químicos generó una planta piloto totalmente integrada, donde aplicaron los principios de la ingeniería general, para procesar 200 galones de caldo fermentado por día, logrando la recuperación de aproximadamente el 85 por ciento de la penicilina. Cuando este proceso fue instalado por cuatro productores, su producción se elevó de una tasa —en 1943— capaz de atender el tratamiento de 4 mil 100 pacientes por mes, a otra —en el segundo semestre de 1944— equivalente a tratamientos para 250 mil pacientes por mes.

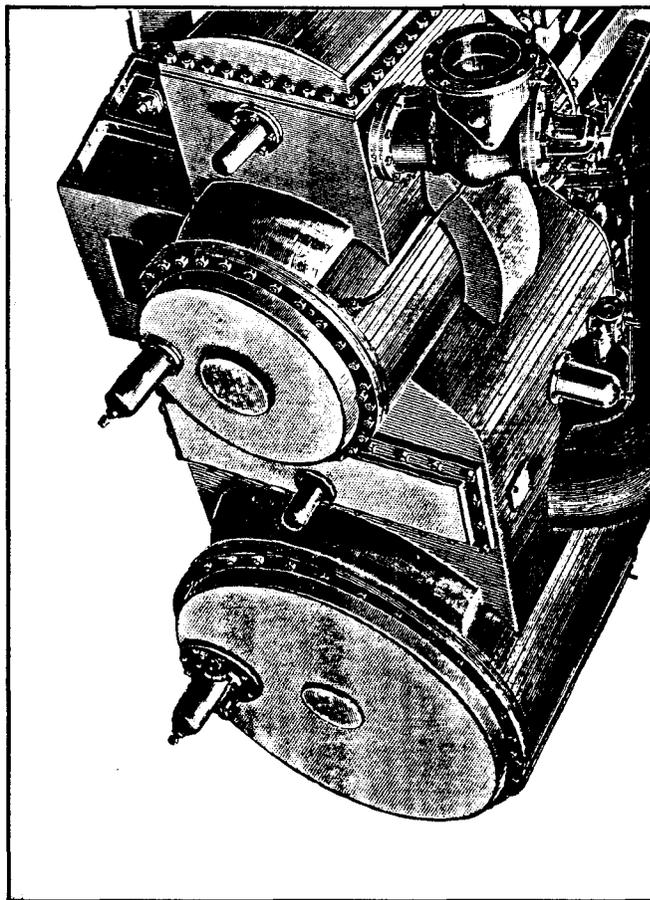
Un segundo reto para sacar adelante la penicilina era su inestabilidad en solución. Se hacía necesaria una forma estable para su almacenamiento y envío a hospitales y clínicas. La mejor solución a este problema, aparentemente, era el secado por medio de la congelación—donde la solución de penicilina se congelaba hasta hacerse hielo, para posteriormente ser sometida a un proceso al vacío, con el fin de eliminar el hielo como vapor de agua—, pero que nunca antes había sido efectuada a esa escala de producción. Mediante un intensivo proyecto puesto en marcha por ingenieros químicos del MIT, durante 1942–1943 se logró una comprensión del fenómeno subyacente, lo que permitió construir plantas viables para la producción.

#### La dinámica de la ingeniería científica

Después de la segunda guerra mundial, el predominio norteamericano en la fabricación de productos químicos fue seguido por un descenso gradual de la investigación de las operaciones unitarias convencionales. Ello condujo al surgimiento de un segundo paradigma de la ingeniería química, iniciado por el movimiento de la ingeniería científica. Insatisfechos con la descripción empírica sobre el desempeño del equipo de procesos, los ingenieros químicos reiniciaron el análisis de las operaciones unitarias desde un punto de vista más profundo. Los fenómenos que se producen en las operaciones unitarias se interpretaron como conjuntos de eventos moleculares. Los modelos cuantitativos mecanicistas para estos eventos se desarrollaron y usaron para analizar el equipo existente, así como también para diseñar nuevo equipo de procesos. Los modelos matemáticos de procesos y reactores se desarrollaron y aplicaron en las industrias estadounidenses de capital intensivo, tales como la de petroquímicos, para la fabricación de productos de alto consumo.

#### La capacitación actual de los ingenieros químicos

Simultáneamente al desarrollo del movimiento de la ingeniería científica, se produjo la evolución del tronco



básico del currículo vigente de la ingeniería química. Quizá, más que cualquier otro desarrollo, el tronco básico del currículo es el que garantiza a los ingenieros químicos el conocimiento para solucionar problemas complejos, en diferentes disciplinas.

El contenido del currículo proporciona la información esencial acerca de algunas ciencias básicas, incluyendo las matemáticas, la física y la química. Esta información es necesaria para emprender un estudio riguroso de los tópicos centrales de la ingeniería química, e incluye:

- Termodinámica de mezclas con multicomponentes y cinética;
- fenómenos de transporte;
- operaciones unitarias;
- ingeniería de reacciones;
- diseño y control de procesos; y
- diseño de plantas e ingeniería de sistemas.

Esto ha permitido que los ingenieros químicos se hayan convertido en los principales contribuyentes en un gran número de áreas interdisciplinarias, que incluyen catálisis, ciencia y tecnología de coloides, combustión, ingeniería electroquímica, y ciencia y tecnología de polímeros.

#### Un nuevo paradigma para la ingeniería química

Durante los próximos años, una confluencia de avances intelectuales, retos tecnológicos y fuerzas económicas darán forma a un nuevo modelo acerca de lo que la ingeniería química es y de lo que los ingenieros químicos hacen (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2 Características permanentes e innovadoras de la ingeniería química**

Características permanentes	Características innovadoras
Sirve a las industrias cuyos productos se mantienen sin cambio en el mercado, durante largos periodos.	Sirve a las industrias cuyos productos son rápidamente reemplazados por productos mejorados.
Sirve a las industrias que compiten principalmente con base en los precios y la demanda.	Sirve a las industrias que compiten con base en la calidad y rendimiento del producto.
Se especializa en la fabricación de materiales homogéneos de moléculas pequeñas.	Se especializa en la fabricación de materiales compuestos y estructurados a partir de grandes moléculas.
Se especializa en la producción de materiales químicos en grandes volúmenes.	Se especializa en la fabricación de materiales específicos y de alto rendimiento.
Se especializa en diseño de procesos.	Se especializa en el diseño de productos con características especiales de rendimiento.
Se especializa en el diseño para la fabricación de productos de alto consumo.	Se especializa en el diseño de procesos de pequeña escala.
Se especializa en procesos continuos.	Se especializa en diseños por lotes.
Se especializa en el diseño de plantas industriales dedicadas a la producción de un solo producto.	Se especializa en el diseño de fábricas fácilmente adaptables.
Sus profesionales usan modelos sencillos y aproximaciones para la resolución de problemas.	Sus especialistas usan modelos más completos, mejores aproximaciones y complejas computadoras para resolver problemas de una manera exacta.
Sus profesionales tienen acceso a muy pocos y sencillos instrumentos analíticos.	Sus especialistas tienen acceso a complicados instrumentos de análisis.
Sus profesionales construyen sus carreras en torno a una sola línea de producción o un proceso.	Sus especialistas tienen múltiples opciones ocupacionales.
La investigación académica se ejerce, en su mayoría, por investigadores que forman parte de departamentos de ingeniería química.	Su investigación académica se hace en grupos multidisciplinarios, donde participan investigadores de prestigio, algunas veces en centros, o bien mediante otras formas de organización.
Su investigación y enseñanza se ubica principalmente en la mesoescala. (Nivel de equipo).	La investigación y enseñanza también incluyen la microescala (nivel molecular) y la macroescala (nivel de sistemas).

Detrás de este avance, hay una fuerza mayor que provocará una explosión de productos y materiales que entrarán en el mercado durante las próximas dos décadas. La utilidad de estos productos, ya sea que correspondan a las industrias de la biotecnología, de la electrónica o de materiales de alto rendimiento, dependerá predominantemente de su estructura y diseño a nivel molecular. Dichas industrias requerirán de controles que puedan precisar su composición y estructura químicas. Estas demandas crearán nuevas oportunidades para los ingenieros químicos, tanto en el diseño de productos como en las innovaciones de procesos.

Una segunda fuerza que contribuirá a la formación de un nuevo paradigma en la ingeniería química, será el aumento en la competencia dentro del mercado internacional. La calidad y el rendimiento de los productos han adquirido mayor importancia que nunca para la competitividad global. Para que los Estados Unidos se mantengan dentro de la competencia en los mercados mundiales de la química, debe encontrar nuevos caminos para disminuir costos y mejorar la calidad y consistencia de los productos. De igual modo, se requiere de una fuerte industria nacional, productora de energía, para evitar el dominio extranjero en este sector esencial de la economía. La solución para enfrentarse a estos retos está en innovar el diseño de procesos, el control y las operaciones de fabricación. Es muy importante que los Estados Unidos mantengan una fuerte presencia en cuanto a la fabricación de productos de alto consumo en los mercados de productos químicos. Los productos de alto consumo son la base de las industrias que emplean a millones de norteamericanos, además de que satisfacen las necesidades básicas de nuestra sociedad y generan valio-

sas ganancias al ser exportados. Las empresas prósperas que fabrican productos de alto consumo también son esenciales para las de productos químicos especializados. La experiencia técnica y los recursos financieros que ofrece la fabricación de productos de alto consumo, es fundamental para la investigación a largo plazo y para los esfuerzos de desarrollo que requiere la producción de especialidades químicas.

La tercera forma que determinará el futuro de la ingeniería química es el conocimiento, por parte de la sociedad, de los riesgos a la salud y de las repercusiones ambientales provocados por la fabricación, el transporte, el uso y la eliminación final de los desechos químicos. Esto constituirá una fuente de nuevos retos para los ingenieros químicos. La sociedad moderna no tolerará una reincidencia tal como la del escape de metilisocianato en Bhopal (en 1985), y la contaminación del Rhin (en 1986). De la ingeniería química depende un manejo de los desechos químicos que asegure su uso racional, en cuanto a la seguridad y la conservación del medio ambiente.

La cuarta y más importante fuerza en el desarrollo del ingeniero químico del mañana será la curiosidad intelectual de los mismos ingenieros químicos. Al extender los límites de los conceptos e ideas del pasado, los investigadores de la ingeniería química están creando nuevos conocimientos y recursos, que serán de gran influencia en la capacitación y las prácticas de la siguiente generación de ingenieros químicos.

Cuando una disciplina adopta un nuevo paradigma suceden cosas interesantes. La época actual es probablemente uno de los tiempos más desafiantes y potencialmente más gratificantes para la ingeniería química. ¿CÓ-

mo se puede describir el patrón de cambio abierto en la disciplina?

El punto central de la ingeniería química ha sido siempre el de los procesos industriales que cambian el estado físico o la composición química de los materiales. Los ingenieros químicos se ocupan de la síntesis, el diseño, la prueba, el escalamiento, la operación, el control y la optimización de estos procesos. Se podría dar el término de *mesoescala*, desde el punto de vista tradicional, a la magnitud y complejidad en la que ellos han trabajado sobre estos problemas. Ejemplos de esta escala incluyen reactores y equipo para ciertos procesos (operaciones unitarias) y combinaciones de operaciones unitarias en plantas de fabricación. La investigación prospectiva en la *mesoescala* será progresivamente sustituida por estudios de fenómenos que se realizan en dimensiones moleculares —la microescala— y en las dimensiones de sistemas extremadamente complejos —la macroescala (ver Tabla 2.3).

Los ingenieros químicos del futuro serán quienes integren un campo más amplio de escalas que cualquier otra rama de la ingeniería. Por ejemplo, algunos pueden trabajar relacionando la macroescala del medio ambiente con la mesoescala de los sistemas de combustión y la microescala de los fenómenos de transporte y las reacciones moleculares. Otros pueden trabajar para relacionar el desempeño, en la macroescala, de una compleja aeronave, con el reactor químico de la mesoescala en el que se formó el ala, cuyo diseño quizá fue influido por estudios, en la microescala, sobre la dinámica y estructura de los líquidos.

Dos importantes tendencias formarán parte del cuadro abierto de la disciplina:

- Los ingenieros químicos se involucrarán más intensamente en el diseño de productos, como un complemento del diseño de procesos. Conforme las propiedades de un producto en desarrollo se ligan más a la manera como se procesa, se eliminará la diferencia tradicional entre el diseño del producto y el del proceso. Habrá un nuevo reto especial de diseño para las industrias incipientes o las ya establecidas, que producirán la patente de diferentes productos, los que serán elaborados de acuerdo con especificaciones exactas de rendimiento. Estos productos se caracterizarán por la necesidad de una innovación rápida, ya que serán sustituidos prontamente en el mercado, por otros nuevos.
- Los ingenieros químicos participarán asiduamente en los esfuerzos de investigación multidisciplinaria. La ingeniería química tiene una larga historia de fructífera investigación interdisciplinaria con las demás ciencias químicas, específicamente en la industria. Es ventajosa la posición de la ingeniería química, como la disciplina de la ingeniería más vinculada con las ciencias moleculares, ya que ciencias como la química, la biología molecular, la biomedicina y la física de estado sólido están aportando la simiente para la tecnología del mañana. La ingeniería química tiene un brillante futuro como la “disciplina de interfase”, que unirá ciencia e ingeniería en los ámbitos multidisciplinarios donde se generará esta nueva tecnología.

**Tabla 2.3 Microescala–Mesoescala–Macroescala: Ilustraciones**

**Microescala (<0.001 m)**

- Estudios atómicos y moleculares de catálisis.
- Procesos químicos en la fabricación de circuitos integrados.
- Estudios de la dinámica de suspensiones y fluidos microestructurados.

**Mesoescala (0.001–100 m)**

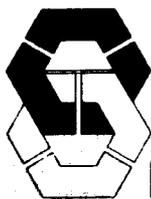
- Mejoramiento de la velocidad y capacidad del equipo de separación.
- Diseño de equipo de moldeo por inyección para la producción de defensas para automóviles hechas de polímeros.
- Diseño de sistemas de retroalimentación de control para biorreactores.

**Macroescala (>10 m)**

- Análisis de operación y síntesis de control de sistemas para una planta de productos químicos.
- Diseño matemático de reacciones químicas y transportación de contaminantes del aire, generados por la combustión.
- Manejo de reservas de petróleo para la recuperación de aceite, mediante sensores a control remoto del proceso de datos, desarrollo y uso de modelos dinámicos de interacciones subterráneas e inyección selectiva de productos químicos, para mejorar la eficiencia en la recuperación.

De esta manera, el ingeniero químico del futuro concebirá y resolverá estrictamente problemas sobre un continuo de escalas, en el intervalo que va de la microescala a la macroescala. Ellos aportarán nuevos elementos y perspectivas para la investigación y la práctica de otras disciplinas: biología molecular, química, física de estado sólido, ciencia de materiales e ingeniería eléctrica. Además, harán mayor uso de las computadoras, de la inteligencia artificial y de los sistemas expertos en la resolución de problemas, el diseño de productos y procesos, así como de la manufactura.

Sin embargo, algunas cosas no cambiarán. Los postulados implícitos acerca de cómo capacitar a los ingenieros químicos—destacando los principios básicos que en la práctica son relativamente inmunes a los cambios—deben permanecer constantes, si es que se desea que los ingenieros químicos del futuro sean quienes dominen el amplio espectro de problemas a los que se enfrentarán. Al mismo tiempo, la manera como tales postulados encuentren expresiones concretas, mediante el ofrecimiento de cursos y la atención a los requerimientos, debe responder a situaciones y necesidades cambiantes.



# HEXAQUIMIA, S.A. de C.V.

OFICINA: Manuel Castro Padilla No. 132  
01020 México, D.F.  
Tels: 593 5900 y 593 5566  
Telex: 1777221 HEXAME Fax: 593 6123

PLANTA: Km 20.7 Carr. México-Texcoco  
Los Reyes La Paz, Edo. México  
Tels: 855 0478 y 855 1295

REPRESENTANTE EXCLUSIVO DE: AKZO CHEMICALS, B.V.  
HOLANDA

AKZO CHEMICALS, INC.  
U.S.A.

## FABRICANTES DE ESPECIALIDADES QUIMICAS DE ALTA TECNOLOGIA PARA LAS INDUSTRIAS

### De Plásticos y Polimerización

Peróxidos Orgánicos  
Percarbonatos  
Azo Compuestos  
Pigmentos Dispersados para Poliéster  
Película Separadora  
Persulfato de Potasio y Amonio

1988  
10 Xx

### De Pinturas y Tintas

Octoatos metálicos  
Naftenatos y linoleatos  
Agentes antinata  
Biocidas

### De Resinas

Acido Fumárico  
Iniciadores de Polimerización  
Catalizadores de Cobalto

### De Aditivos para Alimentos

Acido Fumárico Soluble  
Blanqueadores de Harina

CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD - SERVICIO TECNICO